



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Máster Universitario en Profesorado de Educación
Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación
Profesional y Enseñanza de Idiomas

Trabajo Fin de Máster

TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO DE RUTHERFORD EN LIBROS DE TEXTO DE BACHILLERATO

Autora: Marina Bolado Penagos

Tutor: José María Oliva

Especialidad de Física y Química

Febrero 2019

La investigación descrita en esta memoria se inserta dentro del proyecto de Excelencia "Implicación de los estudiantes en prácticas reflexivas de modelización en la enseñanza de las ciencias" (EDU2017-82518-P).

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se han evaluado los textos y las figuras contenidas en trece libros de texto de ambos cursos de bachillerato de las asignaturas de Física y Química. Estos libros fueron publicados en el marco de las distintas reformas educativas españolas de los últimos treinta años. Han sido analizados con el objetivo de identificar si contienen los elementos necesarios para que los alumnos sean capaces de forjarse un experimento mental acerca de la experiencia del bombardeo de la lámina de oro con partículas alfa llevado a cabo a principios del siglo XX por parte de Rutherford y sus colaboradores. Para realizar tal análisis se han descrito una serie de categorías, tanto para los textos como para las figuras contenidos en los libros. Tras su evaluación se ha observado que solamente un 46% de la muestra sometida a estudio poseen los elementos que se han considerado importantes para que los alumnos puedan forjarse el experimento mental. Un 67% de los libros propuestos como válidos fueron publicados en el marco de la LOGSE, frente un 33% para las leyes sucesivas. Además, se ha podido concluir que los textos de bachillerato no son capaces de realizar una contextualización histórica adecuada, limitando los acontecimientos a una mera secuencia cronológica.

Palabras clave: experimento mental, libros de texto, bachillerato, Rutherford

ABSTRACT

In the present research study texts and figures from thirteen textbooks belonging to the last two grades of high-school of Physics and Chemistry courses have been assessed. These textbooks were published in the frame of the different Spanish educational reforms of the last thirty years. The main goal of this study was to evaluate if these textbooks included the necessary features so that the students are able to build a though experiment of bombarding gold foil with alpha particles which was carried out at the beginning of the 20th century by Rutherford and his colleagues. In order to perform such analysis several categories, as for textbooks as for figures, have been described. On the basis of categories assessment, only a 46% of the textbooks showed the elements signed as important to achieve a though experiment. A 67% of the right textbooks were published under LOGSE, against a 33% for the following educational laws. Moreover, it can be concluded that the high-school textbooks are not able to make an accurate historic contextualization, limiting the events as a mere chronological sequence.

Keywords: thought experiment, textbook, high-school, Rutherford

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1.INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 4 |
| 3. EXPERIMENTO DE RUTHERFORD | 9 |
| 4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN | 11 |
| 4.1. Muestra de libros seleccionada | 11 |
| 4.2. Caracterización de las dimensiones utilizadas | 12 |
| 4.3. Estudio del abordaje histórico presentado en los libros | 17 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 17 |
| 5.1. Análisis de las categorías definidas para los textos. | 17 |
| 5.1.1. ¿Permiten los textos de los libros evaluados al alumno forjarse un experimento mental?..... | 25 |
| 5.1.2. Otros descriptores..... | 26 |
| 5.2. Análisis de las categorías definidas para las figuras | 29 |
| 5.3. ¿Puede lograrse un experimento mental a partir de los libros evaluados? | 38 |
| 5.4. Abordaje histórico de los libros de texto en el contexto del experimento de Rutherford | 40 |
| 6. CONCLUSIONES | 42 |
| 7. FUTUROS TRABAJOS | 44 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA..... | 44 |
| ANEXO I. Relación de libros de texto analizados | 50 |
| ANEXO II. Resultados evaluación del contexto histórico en los libros de texto | 51 |

1.INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación se analizará el contenido de libros de texto de bachillerato de diferentes contextos educativos y editoriales, respecto al experimento del bombardeo de partículas alfa sobre láminas de oro realizado a principios del siglo XX por parte del físico británico Ernest Rutherford y sus colaboradores. Dicha experiencia, de gran relevancia en los contenidos de los libros de Química, será estudiada desde el punto de vista de un experimento mental usado frecuentemente en los libros de texto para rememorar este experimento histórico real. Más concretamente, se pretende evaluar si la muestra de libros escogida para llevar a cabo la presente investigación, identifica los elementos que se han considerado necesarios para que los alumnos sean capaces de alcanzar con éxito la construcción de un experimento mental de dicha experiencia, a partir de lo expuesto por parte de los textos considerados.

La enseñanza de la química requiere la interacción entre las explicaciones teóricas y prácticas, pero estas últimas muchas veces no pueden ser realizadas en las aulas, bien por la falta de recursos en los centros, o bien, por la complejidad que algunas de ellas conllevarían. Por lo tanto, acudir a herramientas como los experimentos mentales pueden llevar a los alumnos a la creación de conocimiento. Los experimentos mentales son una herramienta didáctica de gran utilidad especialmente en la enseñanza de las Ciencias, en donde la relación teoría-práctica se hace indispensable en el proceso de enseñanza-aprendizaje. En las aulas, por diversos motivos, la enseñanza práctica se ve muy limitada, pudiendo ser los experimentos mentales una alternativa para este tipo de enseñanza.

En la actualidad, a pesar del vertiginoso avance de las tecnologías de la información y de la comunicación (conocidas como TIC), aún hoy el libro de texto sigue siendo el recurso principal, e incluso el único a veces, en las aulas (Jiménez & Perales, 2001; Romera, Caballero & Pablos, 2017), es por ello que se ha elegido este recurso para evaluar la forma en la que se introduce en las aulas la experiencia de Rutherford.

Según datos extraídos de la evaluación internacional de las tendencias en Matemáticas y otras asignaturas de Ciencias (en inglés conocido por el acrónimo TIMSS), se indica que un 50% de los contenidos expuestos en las aulas por lo profesores semanalmente, son introducidos mediante el uso del libro de texto (Wang

& Schmidt, 2001). Ya que los profesores recurren a esta herramienta con tanta asiduidad, cobra gran importancia que los textos sean revisados (McComas, 1998), y no hacer caer a los alumnos en confusiones y posteriores ideas alternativas, especialmente en el caso de la enseñanza de la Historia de las Ciencias, en donde los libros de textos se convierten en los protagonistas de las explicaciones de los profesores y en muchas ocasiones presentan importantes errores que distorsionan la realidad histórica de los hechos (Farías, 2012).

Llama la atención que en los textos escolares (e incluso universitarios) de Química, o Física y Química, los modelos atómicos (contenido dentro del cual se enmarca el experimento o experiencia de Rutherford) anteriores a la mecánica cuántica, siguen cobrando gran importancia y abarcan buena parte de la atención de los textos referidos a tal tema (Niaz, 1998; 2005). En los trabajos del referido autor se estudia el desarrollo de la Historia y la Filosofía de la Ciencia en el marco de los modelos atómicos, partir de una serie de criterios racionales. Según sus conclusiones, los textos presentan un enfoque positivista/inductivista respecto de la estructura del átomo, además estos resaltan las experiencias, así como el uso del método científico, llegando incluso a contradecir eventos históricos relevantes en el desarrollo de la Ciencia, tanto en los libros universitarios como en los de bachillerato (Páez, Rodríguez & Niaz, 2004).

En la democracia española se han sucedido cuatro Leyes Orgánicas de Educación, aunque solamente tres de ellas prosperaron, y en el marco de estas tres reformas educativas, fueron publicados los libros de texto empleados para la realización del presente trabajo de investigación. La primera de las leyes educativas data de 1990, conocida como la Ley Orgánica de Ordenación General del Sistema Educativo español (LOGSE, Ley Orgánica 1/1990), la cual sustituyó a la Ley General de Educación de 1970, ya que esta seguía vigente aun estando ya implantada la democracia. En el marco de esta ley se implantaron los dos cursos de bachillerato con un nuevo diseño curricular¹, que seguían a la etapa de educación secundaria obligatoria (ESO); no siendo hasta el año 2000 cuando estos se implantasen de forma general. La enseñanza de la estructura atómica, y en concreto el modelo de

¹ Real Decreto 1179/1992, de 2 de octubre, por el que se establece el currículo del Bachillerato. Boletín Oficial del Estado, núm. 253, de 21 de octubre de 1992, pp. 35585 a 35588.

Rutherford, se detallaba en los objetivos didácticos y criterios de evaluación del primer curso de bachillerato, en la asignatura de Física y Química. Además, en el segundo curso (Química), este objetivo volvía a aparecer, aunque ya de manera más general, siendo en este caso el modelo de Böhr el que cobraba mayor importancia. El material didáctico empleado en las aulas era revisado por las autonomías, y posteriormente inspeccionado por el Estado (Puelles, 2007). Esto podría haber sido derogado con la Ley Orgánica de Calidad de Educación (LOCE, o Ley Orgánica 10/2002), pero nunca llegó a ser aplicada. La LOCE otorgaba a los centros la elección de los libros, disposiciones que se mantuvieron con la entrada de la Ley Orgánica de Educación (LOE, Ley Orgánica 2/2006²) (Farías, 2012), siendo esta la que derogase finalmente a la LOGSE. En el currículo de Física y Química implantado por la LOE, los modelos atómicos aparecen dentro de los contenidos de 1º de bachillerato, aunque este contenido también aparece entre los propios del tercer curso de la ESO. Para el segundo curso de bachillerato, en la LOE volvía a estudiarse la estructura atómica, pero ahora como ocurría en la LOGSE, partía del modelo de Bohr. La última de las leyes, y actualmente vigente es la Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE, Ley Orgánica 8/2013³), fue aprobada en el año 2013. Atendiendo a los contenidos de esta Ley, se comprueba que la estructura atómica no cobra la importancia que en las anteriores leyes tenía en los cursos de bachillerato, no así en los cursos de secundaria. En el primer curso de bachillerato, el estudio de los modelos atómicos no se encuentra dentro de los contenidos de la asignatura; pero si en segundo (para la asignatura de Química) dentro del bloque en el que se estudia el origen y evolución de los componentes del Universo de los libros de texto. En este caso, el único modelo atómico que se cita en los contenidos es el de Böhr, mientras que tanto en los criterios de evaluación como en los de aprendizaje, se detalla el estudio del análisis cronológico y las limitaciones de los distintos modelos atómicos; y su relación con los hechos experimentales asociados⁴.

En los apartados que le siguen a la presente memoria, se detalla en primer lugar los fundamentos de la investigación a partir de la descripción del marco teórico.

² Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Boletín Oficial del Estado, núm. 106, de 4 de mayo de 2006, pp. 1 a 110.

³ Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa. Boletín Oficial del Estado, núm. 295, de 10 de diciembre de 2013, pp. 97858 a 97921.

⁴ Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Boletín Oficial del Estado, núm. 3, de 3 de enero de 2015, pp. 168 a 546.

Tras este apartado se describe en qué consistió el experimento del bombardeo de partículas alfa, así como una síntesis de trabajos previos referidos a investigaciones en las que el modelo o experimento de Rutherford en los libros de texto ha sido objeto de estudio. A continuación, se desarrolla el apartado del diseño de la investigación, en el cual se detalla cada una de las categorías que han sido descritas para la evaluación del experimento mental en los libros de texto de los cursos de bachillerato, así como el uso de las imágenes o recursos visuales mostrados en los textos, con el fin de ver si estos apoyan al contenido de los libros en cuanto al experimento se refiere. Los resultados y la discusión de estos se presentan de manera conjunta acompañándose de figuras y tablas. Finalmente, se recogen las conclusiones del trabajo, así como posibles futuros trabajos a realizar para continuar con esta investigación.

2. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Si se entiende como experimento mental aquel que es llevado a cabo en la mente sin necesidad de ser ejecutado físicamente, el experimento realizado por Rutherford y sus colaboradores, no entraría dentro de tal definición, ya que este sí pudo en su día ser recreado en el laboratorio. No obstante, sí se puede otorgar la condición de experimento mental a muchos de los experimentos que se muestran hoy en los libros de texto, y que se corresponden con experimentos cruciales desarrollados en la historia de la Ciencia. En efecto, muchos de ellos se corresponden con hitos históricos que, aun habiendo sido realizados en su momento de forma real, no pueden ser recreados en las aulas convencionales, bien por falta de infraestructuras, peligrosidad del experimento, etc.; así como otros problemas de carácter docente que dificultan su establecimiento (Álvarez, 2012; 2015). En el caso del experimento del bombardeo de partículas alfa, se precisa el uso de sustancias radiactivas para la proyección de dichas partículas sobre las láminas de oro, además el uso de material de laboratorio sofisticado, lo que lo hace inviable de reproducir en el aula.

Pero debido a la importancia que cobra en el aula, el aprendizaje a partir de la combinación de la teoría y la práctica, los profesores tienen una labor muy importante a la hora de introducir a los alumnos tales experiencias prácticas en las aulas. Para ello, se hace necesario incorporar tanto en los libros de texto como en las explicaciones de los profesores (Oliva, 2003) recursos didácticos que suplan tal

carencia de la enseñanza práctica y que contribuyan a construir conocimiento científico a partir del razonamiento, y así de esta forma, favorecer un aprendizaje significativo por parte del alumno.

Los recursos didácticos a los que se refiere el párrafo anterior, contribuyen al aprendizaje basado en modelos, los cuales pueden entenderse como representaciones simplificadas de la realidad (Escudero, 1981). Estos modelos de enseñanza interpretan sistemas físicos, procesos, fenómenos o situaciones de manera idealizada (Nersessian, 2002); que son capaces de ayudar al alumno a estimular su creatividad alcanzando de esa forma el cambio conceptual, pudiendo, además, emplear distintas formas de abstracción. En la enseñanza no existe un único camino, ni un mismo profesor llevará siempre el proceso de enseñanza de la misma forma, sino que este se verá modificado en función del contexto en el cual se encuentre, por tanto, no existe un único modelo de enseñanza único, así como existen distintas estrategias empleadas en el proceso de aprendizaje. En los cursos de bachillerato se introducen muchos contenidos con alto grado de abstracción (Oliva, 2003), es por ello que su presencia en el aula debería de ser considerada en el proceso de enseñanza.

Con el fin de construir conocimiento científico, en Didáctica de las Ciencias se emplean diversos recursos para alcanzar tal meta. Además del experimento mental, recurso clave de este trabajo de investigación, existen otras herramientas como las que se destacan en sendos trabajos de Nersessian (1992; 1999; 2002): el razonamiento a través de las analogías o el razonamiento a través de imágenes (o recursos visuales), cuya práctica puede ser implementada tanto en experiencias teóricas como en prácticas. Estos recursos poseen naturaleza heurística, es decir, guían el conocimiento. Los ejemplos, las paradojas, o las metáforas entre otros, pueden unirse a esta lista de recursos en la educación de las ciencias.

Las analogías son un recurso didáctico muy útil en el proceso de enseñanza-aprendizaje, que como se adelantaba, ayudan a la comprensión y visualización por parte del alumno de nociones abstractas, favoreciendo estas a su vez una actitud positiva hacia el aprendizaje, y estas además pueden ayudar al profesor en la exploración de ideas previas (Galagovsky & Adúriz-Bravo, 2001). Esta herramienta puede verse introducida en la explicación bien por parte del contenido de los textos, o bien por parte de la explicación del profesor (Oliva, 2003). En la analogía se comparan

dos ideas o fenómenos entre sí, siendo uno el contenido a presentar en la clase, al cual se conoce como objeto o problema, y el otro concepto, familiar para el alumno; es denominado como análogo o fuente. Una de las analogías más empleadas en la enseñanza de la Química, es el de asemejar el modelo atómico de Thomson (objeto o problema), con un pudín de pasas (análogo o fuente). Estos conceptos pueden ser comparados gracias a las semejanzas que existen entre sí (Aragón, Bonat, Oliva & Mateo, 1999). A pesar del uso extendido de las analogías en Ciencias, varios trabajos de investigación han destacado los inconvenientes que su uso puede suponer en el aprendizaje (Oliva, Aragón, Bonat & Mateo, 2003). Cabe destacar que el uso de las analogías en ocasiones suscita controversia, debido a que los alumnos pueden no ser capaces de generar conocimiento a partir de estas, y se quedan para ellos en una mera anécdota del contenido estudiado en esa unidad. En cuanto a un aspecto a mejorar cuando éstas son empleadas, está relacionado con que las analogías suelen ser presentadas a partir de opiniones o comparaciones realizadas por el profesor, y no por el alumno, y en términos de construcción de conocimiento lo adecuado sería que precisamente fuese el alumno quien fuese capaz de generar una analogía a partir de un problema planteado (Oliva, Azcárate & Navarrete, 2007)

El razonamiento a partir de recursos visuales o imágenes permite eludir la problemática asociada a acepciones o términos que se utilizan en las explicaciones en Ciencia que muchas ocasiones son las que hacen al alumno no entender el discurso del profesor, o el enunciado del texto; así como la inexistencia de expresiones matemáticas referidas a determinados conceptos ayudando de manera significativa a la actividad cognitiva que se ve involucrada en el razonamiento (Nersessian, 2002). Las imágenes o figuras presentes en los libros o en otras plataformas como los *applets*, influyen positivamente en el proceso de aprendizaje, gracias a la creación de representaciones mentales. En los libros de texto suelen acompañar a las analogías, con lo que de esta forma se consigue centrar la atención en aspectos concretos del fenómeno que se estudia (Nersessian, 1992; 1999). Su aparición en los libros de texto ayuda a reducir la abstracción de los contenidos científicos estudiados, así como mejorar el recuerdo o promover la imaginación entre otros (Otero & Greca, 2004). Comúnmente los alumnos tienden a visualizar antes las figuras contenidas en los libros, que los propios textos, favoreciéndose de esta forma la creatividad en los alumnos a la hora de interpretar el fenómeno que se está estudiando, o incluso estas pueden llevar a los alumnos a leer los textos motivados por comprender que ocurre

en la figura observada (Kasmaienezhadfar, Pourrajab & Rabbani, 2015). Y viceversa, las imágenes permiten comprender lo expuesto en los textos favoreciéndose la construcción de un modelo mental (no confundiendo a este con una mera copia en la mente de la ilustración observada), ya que en ocasiones los textos emplean un lenguaje científico que no ayuda a alcanzar el aprendizaje perseguido, siempre y cuando se haya producido una correcta interpretación de la figura en cuestión (Glenberg & Langston, 1992; Hibbing & Rankin-Erickson, 2003) Pero a pesar de que las ilustraciones contenidas en los libros de texto son una potente herramienta en el proceso de aprendizaje perseguido, deberían de ser muy cuidadas en el proceso de ilustración y elección para los textos. Debido a esto, trabajos como el de Perales & Jiménez (2002) elaboran categorías, de acuerdo a criterios sintácticos y semánticos, con el fin de validar si las figuras contenidas en los libros son idóneas para el objetivo planteado.

Al requerir, tanto las analogías como los experimentos mentales, de una componente imaginativa, estos pueden ser confundidos entre sí, a pesar de que su fundamento es diferente; y los segundos apenas son empleados en las aulas (JReiner, 1998; Reiner & Gilbert, 2000; Oliva, 2003), aun siendo estos aceptados en la experimentación científica en el planteamiento de hipótesis (Nersessian, 1992). En el sentido más estricto, los experimentos mentales o imaginarios, son recursos o estrategias de la imaginación que permiten recrear una situación hipotética, tanto en la Ciencia como en Filosofía, la cual no puede ser llevada a cabo en la naturaleza, pero que a partir de una metodología racional permite investigar y entender fenómenos reales. Al igual que ocurre con la experimentación realizada en un laboratorio, un experimento mental permitirá aceptar una hipótesis (constructivismo), o, por el contrario, rechazarla. La aparición del término que representaba la idea que hoy en día se tiene por un experimento mental, se atribuye al danés Hans Christian Ørsted, quien en el año 1811 lo denominase como *Gedankenexperiment* y que, posteriormente tradujo al alemán en 1820 como *Gedankenversuch*. Se refirió a estos términos como una fuente especial de conocimiento, donde los experimentos eran llevados a cabo en el pensamiento (Aguilar & Romero, 2011). Sin embargo, en el año 1897 el físico y filósofo austriaco Ernst Mach, quien fuese conocido por sus aportaciones al positivismo y de tradición empirista, dio otro sentido al experimento mental, siendo quien por primera vez lo acuñase como “*thought experiment*”, ya que, aunque con anterioridad a su ensayo se había empleado tal herramienta, no se había

encontrado la forma de denominarlo. En este caso, se hacía una comparación entre la experimentación real y la experimentación mental. Fruto del análisis histórico y epistemológico de los experimentos mentales, publicó un ensayo en una revista de física y química en donde detalló la importancia de la experimentación mental no solamente en el campo de la Física, sino también en todos los campos del saber, considerándose estos muy importante en el desarrollo cognitivo. Los experimentos mentales preceden a la experimentación real, preparando el camino para la consecución de esta y son, además, de gran valor ya que permiten transformar teorías abstractas en ideas tangibles (Sobanski, 2014). La caída libre de los cuerpos (Galileo), la relatividad espacial (paradoja de los gemelos de Einstein) o la mecánica cuántica (gato de Schrödinger), etc., son solamente unos pocos ejemplos de como los experimentos mentales se han ido sucediendo en la Historia de las Ciencias, especialmente en Física, para dar explicación a fenómenos tan relevantes como los citados. En el caso de la Filosofía también se pueden citar algunos experimentos mentales que están relacionados con temas que generan controversia en la sociedad como la defensa del aborto o la inteligencia artificial: el experimento mental del violinista inconsciente (Judith Thomson, 1971) y la habitación china (John Searle, 1980) respectivamente; aunque para autores como Wilkes (1988) su uso en Filosofía dista del empleado en las disciplinas científicas.

Según el trabajo de Reiner (1998), en un experimento mental pueden describirse cinco fases: i) la pregunta o supuestos generales que van a definir el experimento en sí, como podría ser la teoría física que se utilizaría para resolver o para llevar a cabo el experimento; ii) las características que van a definir el experimento y su similaridad con la realidad, relacionados con los supuestos o la formulación del experimento, además del modelo físico a emplear; iii) la propia realización del experimento mental, que se corresponderá con una serie de deducciones formales obtenidas a partir de las dos anteriores; iv) la deducción de los resultados, y finalmente v) la síntesis de las conclusiones derivadas del experimento. En el desarrollo de estas fases pueden producirse errores por parte de quien elabora el experimento mental, siendo en las dos primeras fases en las que con mayor frecuencia se producen estos errores, tanto por parte de físicos ya experimentados, como por parte de alumnos, aunque los motivos que originan tales errores son muy diferentes en ambos casos (Reiner & Burko, 2003).

A pesar de que los experimentos mentales han sido caracterizados a lo largo de la historia como una potente herramienta para el razonamiento científico, pueden diferenciarse dos posturas con respecto de su aplicación: racionalismo platónico frente al empirismo clásico (González, 2017). Por una parte, se encuentra la perspectiva experimental de quienes afirman que los experimentos mentales permiten ampliar el conocimiento científico (Brown, 1991; Sorensen, 1992). Para estos, los experimentos mentales son iguales que los experimentos reales, ya que afirman que no precisan de ser ejecutados, asumiendo continuidad entre ellos. Brown clasificó los experimentos mentales en constructivos y destructivos (muy cercana a la clasificación de Popper, quien identificó los experimentos como heurísticos y críticos). Mientras que los primeros ayudan a construir una hipótesis o una teoría, los segundos la rechazan. La perspectiva antagónica se refiere a que los experimentos mentales pueden ser formulados por argumentos, siendo tales experimentos derivaciones lógicas de las conclusiones y no generan nuevo conocimiento (Norton, 1991), ya que según esta perspectiva el conocimiento generado se basa en información procedente de la experimentación real. En la clasificación de Norton, los experimentos mentales pueden ser de tipo I: los que conllevan argumentos deductivos; y tipo II: en donde los argumentos son del tipo inductivo.

3. EXPERIMENTO DE RUTHERFORD

La teoría de la naturaleza indivisible del átomo presentada por Dalton, quien retomó las ideas atomicistas ya planteadas en la Antigua Grecia, fue descartada por estudios de electrólisis realizados en el año 1830 por parte de Faraday, así como los posteriores análisis de espectros de gases (Crookes, 1870). Dichos estudios y la aparición de los rayos catódicos, llevaron a Thomson a identificar unas partículas subatómicas, a las que más adelante denominaría electrones (1906). Los descubrimientos en radiactividad de Becquerel y Marie Curie fueron primordiales para el desarrollo de la estructura atómica y permitieron a Rutherford identificar tres tipos distintos de radiación: alfa, beta y gamma; concluyendo a partir de estudios posteriores que las partículas alfa eran átomos de helio con dos cargas eléctricas positivas.

Thomson expuso la naturaleza neutra del átomo, ya que, según este, el átomo estaba formado por corpúsculos de carga eléctrica negativa repartidos de manera

uniforme en una esfera de carga positiva, como si de un pudín de pasas se tratase. Con el fin de corroborar la teoría atómica presentada por Thomson, se diseñaron una serie de experimentos, entre los que se encuentra el que hoy en día conocemos como experimento de Rutherford, o experimento de la lámina de oro. Este experimento fue ideado por Hans Geiger y Ernest Marsden (de aquí en adelante en el texto se referirá a ellos como G&M), colaborador de Rutherford y estudiante de posgrado respectivamente, y se realizó en junio del año 1909 bajo la supervisión de Rutherford en los laboratorios de la Universidad de Manchester (Geiger & Marsden, 1909). Tal experimento consistió en bombardear láminas metálicas muy finas de oro con partículas alfa provenientes de una sustancia radiactiva (el radio), con el fin de observar que, partiendo del modelo de Thomson, las partículas alfa sufrían leves desviaciones al atravesar los átomos contenidos en las finas láminas metálicas. Pero el resultado con el que se toparon fue que, sorprendentemente, varias de las partículas fueron rebotadas al interceptar la lámina. El resultado crucial de este experimento no fue el ángulo con el cual se desviaban las partículas, sino que, 1 de cada 20.000 partículas alfa eran desviadas con un elevado ángulo. Los resultados derivados de este y otros experimentos, llevaron a Rutherford a enunciar en marzo de 1911 en el transcurso de una reunión de la Sociedad de Filosofía y Literatura de Manchester, su teoría acerca del modelo nuclear atómico, la cual sería publicada dos meses más tarde en la revista *Philosophical Magazine* (Rutherford, 1911). Por lo tanto, este experimento no solamente permitió mostrar las debilidades del modelo de Thomson, sino que permitió reformular la teoría previa y determinar un nuevo modelo atómico.

Como se ha adelantado con anterioridad, la estructura del átomo y la historia de los modelos atómicos ha sido, y sigue siendo, un elemento clave en el currículo de la enseñanza de Física y Química, por ello, no es de extrañar que haya sido objeto de estudio en diversos trabajos de investigación. La falta de perspectiva histórica y filosófica, así como el ensalzamiento de la práctica experimental (Tsaparlis, 1997; Niaz, Aguilera, Maza & Liendo, 2002), la necesidad de afrontar las dificultades en el aprendizaje (Benarroch, 2000) o la importancia de su modelización (Tsaparlis, 1997); son algunos de los aspectos investigados.

Aunque no se ha encontrado ningún trabajo en el que se haya estudiado con anterioridad el tratamiento por parte de los libros de texto del experimento de Rutherford como experimento mental, si han sido varias las investigaciones en las que

se evaluado la aparición de la experiencia del bombardeo de partículas alfa en los textos educativos, tanto en libros correspondientes a cursos de secundaria (Manzano & Dasilva, 2012) y/o bachillerato (Páez et al., 2004), como en libros universitarios (Niaz, 1998; Rodríguez & Niaz, 2002). Estos trabajos coinciden en la falta de un marco teórico en los textos alejándose de la perspectiva histórico-epistemológica (Cuéllar, Pérez & Quintanilla, 2005), presentando el conocimiento científico como una retórica de conclusiones (Niaz, 1998), y basándose en verdades irrefutables. El modelo de Rutherford, así como el modelo de Thomson o Böhr, se muestra en los libros como el resultado de una serie de hechos meramente experimentales, presentándose el método científico como la única vía para generar conocimiento (Páez et al., 2004). En trabajos como el de Manzano & Dasilva (2012) se ha observado que los textos introducen numerosos errores conceptuales como el de asumir los orbitales como lugares físicos; así como la tendencia de estos en cuanto a la enseñanza memorística de los modelos atómicos.

4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología a partir de la cual se ha desarrollado el presente trabajo de investigación, se ha basado en la evaluación de los contenidos utilizados por parte de un total de trece libros de texto de nueve editoriales diferentes (Tabla 1), para explicar el experimento de Rutherford. Tales contenidos han sido valorados en función de como se presenta el mismo, en el marco de un experimento mental; es decir, analizando si estos se formulan de manera adecuada para ayudar al alumno a entender la transcendencia y el alcance de dicha experiencia. En este sentido, se han descrito una serie de categorías para evaluar tanto los textos como las figuras que acompañan a los mismo, en la muestra de libros elegida (Anexo I).

4.1. Muestra de libros seleccionada

Aun habiendo sido la muestra de los libros de texto elegida al azar, todos ellos pertenecientes a los cursos de bachillerato, esta ha permitido evaluar los textos y figuras que las distintas editoriales emplean para desarrollar el experimento de Rutherford en los distintos contextos educativos que se han sucedido en España en los casi últimos 30 años. Se trata, pues, de una muestra de libros circunstancia elegidos en función de criterios de conveniencia por su disponibilidad.

Tanto para la LOGSE (54% de los libros consultados) como para la LOE (23%), el modelo atómico de Rutherford forma parte de los contenidos de la asignatura de Física y Química de 1º de bachillerato. El restante 23% de los libros que se han sometido a evaluación, han sido publicados en el marco de la LOMCE, vigente desde el año 2013. En este caso, el modelo atómico de Rutherford desaparece como contenido en sí en los cursos de Bachillerato, no, así como criterio evaluable en la asignatura de Química del segundo curso de bachillerato. A pesar de ello, los libros de texto siguen introduciéndolo, aunque en menor extensión respecto del resto, como se podrá comprobar en el apartado de resultados del presente trabajo.

Tabla 1. Datos relevantes de la muestra de libros que ha sido utilizada para el desarrollo experimental del presente trabajo de investigación.

| NOMENCLATURA | EDITORIAL | AÑO DE PUBLICACIÓN CONTEXTO EDUCATIVO | CURSO EN EL QUE SE IMPARTE | TEMA EN EL QUE SE EXPLICA |
|--------------|------------------|--|-------------------------------|---|
| LIB1 | Edelvives | 2016 - LOMCE | 2º Bachillerato | Tema 1: Estructura de la materia |
| LIB2 | Santillana | 2016 - LOMCE | 2º Bachillerato | Tema 1: Estructura atómica de la materia |
| LIB3 | McGraw Hill | 2016 - LOMCE | 2º Bachillerato | Tema 1: Estructura de la materia |
| LIB4 | Bruñó | 2015 - LOE | 1º Bachillerato | Tema 4: El átomo. Modelos atómicos |
| LIB5 | OXFORD Educación | 2015 - LOE | 1º Bachillerato | Tema 4: Estructura atómica y molecular |
| LIB6 | OXFORD Educación | 1999 - LOGSE | 1º Bachillerato | Tema 4: Estructura de los átomos. El sistema periódico |
| LIB7 | ECIR | 1999 - LOGSE | 1º Bachillerato | Unidad V: La naturaleza de la materia. El átomo y los enlaces químicos. Tema 8: La estructura atómica y el sistema periódico |
| LIB8 | ANAYA | 2000 - LOGSE | 1º Bachillerato | Unidad VII: El átomo y los enlaces Tema 13: Modelos atómicos |
| LIB9 | SM | 2002 - LOGSE | 1º Bachillerato | Tema 11: Leyes fundamentales de la química Tema 12: Estructura atómica |
| LIB10 | Edelvives | 2002 - LOGSE | 1º Bachillerato | Unidad 2: La naturaleza de la materia Unidad 3: La estructura de la materia |
| LIB11 | Bruñó | 2002 - LOGSE | 1º Bachillerato | Unidad : El átomo y sus enlaces Tema 11: Modelos atómicos |
| LIB12 | McGraw Hill | 2002 - LOGSE | 1º Bachillerato | Unidad IX : Leyes básicas de la química Unidad XI: Estructura atómica |
| LIB13 | EDEBÉ | 2008 - LOE | 1º Bachillerato | Tema 10 : La materia Tema 11: Modelos atómicos |

4.2. Caracterización de las dimensiones utilizadas

La investigación realizada con el fin de evaluar los aspectos que detallan los libros de texto en referencia al experimento de Rutherford, ha sido del tipo cualitativa. Por una parte, han sido establecidas una serie de categorías respecto de los

elementos que los textos deberían de contener para una adecuada descripción del experimento, y, que, además, estuviesen bien descritos y con ello facilitasen al alumno la consecución del experimento mental. Estas categorías o descriptores se han agrupado en una tabla comparativa para todos los libros de texto, pudiéndose así identificar si los libros sometidos a estudio permitían forjar o no, un experimento mental. Además, este tipo de tablas permite realizar comparaciones no solamente entre distintos libros, sino también entre los distintos descriptores.

A continuación se pasa a describir las categorías que se han empleado en el caso de la evaluación del contenido de los libros de texto:

- *Qué llevó a realizar este experimento:* esta categoría, más que ayudar al alumno a forjarse una idea acerca del experimento mental de la experiencia estudiada, le permite conocer cual era el estado del arte en ese momento. Rutherford, junto con sus colaboradores, decidieron llevar a cabo este experimento con el fin de conocer la estructura de la materia y así, ratificar la teoría del modelo previamente descrito por Thomson. Por tanto, el lector para poder realizar una correcta interpretación, necesita conocer las investigaciones que habían sido realizadas con anterioridad y que sentaron las bases para llevar a cabo tal experimento. Más adelante se detalla de forma más extendida como se ha procedido a realizar la evaluación de los descubrimientos previos en el tema estudiado.
- *Uso de analogías:* el uso de las analogías se ha constatado como un elemento enriquecedor del discurso científico (Aragón et al., 1999), bien por parte del profesor, o bien este caso, en los libros de texto en la enseñanza de las ciencias; las cuales ayudan de forma favorable al alumno a elaborarse con mayor facilidad su propio modelo mental. En este experimento, la analogía que se emplea es la de asemejar el modelo nuclear de Rutherford con un sistema planetario o solar, en donde los electrones orbitan, como si de planetas se tratasen, alrededor del núcleo central, el sol.
- *Sustancia radiactiva que contienen las partículas alfa:* la naturaleza de la sustancia empleada en este experimento es de vital importancia para que se pueda realizar un adecuado experimento mental, siempre y cuando se hayan introducido al lector conceptos clave de radiactividad. Si esto último no ha ocurrido, el texto deberá de contemplar la siguiente categoría.

- *Partículas alfa son positivas:* Rutherford estudió las emisiones radiactivas e identificó que las radiaciones no siempre eran las mismas, sino que, existían tres tipos de radiaciones. Radiación tipo alfa (α), que poseían bajo poder de penetración pudiendo llegar a ser frenadas por una hoja de papel y que no eran capaces de atravesar la piel. La radiación tipo beta (β), con mayor poder de penetración que la anterior; y la radiación tipo gamma (γ) que era diez veces superior en poder de penetración que la β . El experimento de Rutherford y sus colaboradores se realizó mediante la emisión de radiación de tipo alfa, la cual consiguieron a partir de la sustancia radiactiva radio, ya que además, estas radiaciones poseían una desviación del campo eléctrico o magnético muy pequeña.

El radio en su desintegración (Ra-226) produce (además de radón), núcleos pesados de helio. Tales núcleos, están formados por dos protones y dos neutrones, cuya carga eléctrica, es positiva al no contener electrones; consistiendo en estos las partículas alfa mencionadas en el experimento de Rutherford. Por ello, conocer su carga positiva se hace indispensable para poder entender el comportamiento de estas y, las premisas del nuevo modelo nuclear.

- *Existencia de una lámina de oro que es atravesada por partículas alfa:* aunque el material de la lámina no sea un elemento clave para el experimento, sí lo es la existencia de tal lámina, o por lo menos como algunos libros mencionan. En efecto, será con esta con la que interaccionen los haces de partículas alfa emitidos. Las partículas alfa, como se acaba de exponer, tienen un poder de penetración muy pequeño, por ello, la lámina de oro tenía que tener un grosor muy fino, para que las partículas fuesen capaces de penetrarla.
- *Las partículas alfa y la lámina de oro:* como se adelantaba en la anterior categoría, el comportamiento de las partículas alfa al chocar con la lámina de oro es el elemento central del experimento. Las partículas cargadas positivamente, mostrarán distintos comportamientos al toparse con la lámina de oro, siendo las trayectorias seguidas por estas, las que llevaron a Rutherford a concluir la estructura del átomo.
- *La existencia de una pantalla fluorescente:* esta se colocó por detrás de la lámina de oro, con el objetivo de poder ver en ella la llegada de las partículas alfa, ya que producían un ligero resplandor al incidir sobre la pantalla.

- Finalmente, según los descriptores encontrados en cada uno de los libros de texto, se ha determinado si los libros de texto sometidos a evaluación poseen los contenidos necesarios para forjar un experimento mental adecuado o no.

Como se comentaba anteriormente, estas categorías sirvieron para evaluar el ejercicio que los libros de texto hacen para ayudar al alumno a una comprensión adecuada del experimento mental en su conjunto. Pero además, se han tenido en cuenta otras dimensiones para valorar el trabajo de los libros en cuanto a la explicación del modelo atómico de Rutherford, ya que este fue el fruto de tal experiencia. Se trata de ver si los textos son capaces de unir la experiencia con el nacimiento del modelo, y que de esta forma, los alumnos sean conscientes del proceso de indagación científica ligado a dicho modelo; ya que en este caso tras la experimentación se elaboró un modelo teórico, el cual fue muy distinto al de la hipótesis de partida planteada.

- *Modelo nuclear*: es el nombre con el que también es conocido el modelo de Rutherford, ya que este centra su importancia en el núcleo, en su estructura, completamente diferente hasta lo que entonces se había descrito. De esta forma, el lector podrá identificar los hallazgos de Rutherford con la importancia del núcleo.
- *Explicación del modelo a partir de los resultados del experimento*: esto se ha comentado al introducir estas últimas categorías. Que la experimentación no quede en un hecho aislado, sino que ésta se plantee como una fuente de importantes resultados y conclusiones.
- *Resaltar las limitaciones del modelo*: Rutherford avanzó en el conocimiento de la estructura del átomo, pero sin embargo, su modelo fue destronado por Böhr. De la misma forma que es necesario conocer el estado del arte previo a la realización del experimento, también cobra importancia señalar los motivos por los cuales este modelo no se corresponden con la estructura atómica que a día de hoy conocemos.

Por otro lado, además de las categorías descritas para la evaluación de los textos, se han evaluado las figuras que los libros de texto emplean acompañando al texto. Las figuras pueden ayudar a construir conocimiento, siempre y cuando se haga una adecuada interpretación de estas (Peeck, 1993).

En este trabajo se investiga si las imágenes que aparecen en la muestra de libros de texto ayudan o contribuyen, junto con el texto, a que el alumno sea capaz de construir en su mente el experimento y entienda como se realizó la experiencia por parte de Rutherford y sus colaboradores. En este caso, no se introducen elementos nuevos con respecto a los ya definidos para los textos, a excepción de la presencia de rendijas o colimadores. Se realizó una tabla de la misma naturaleza que para el caso anterior, una tabla comparativa con todos los libros evaluados y los contenidos sometidos a observación. En el caso de las figuras las categorías que se han utilizado para su evaluación fueron las siguientes:

- *Visión macroscópica*: hace referencia a la inclusión de figuras en las que se ilustren los elementos empleados para llevar a cabo la experiencia, los elementos de los que se sirvieron los investigadores para llevar a cabo su experimento.
- *Modelo microscópico*: por el contrario, son imágenes que intentan representar lo que el observador no puede ver por sí mismo en la experiencia, apoyándose en un modelo explicativo en torno a los procesos internos que tienen lugar; como por ejemplo las trayectorias seguidas por los haces de partículas alfa al toparse con los átomos contenidos en la lámina de oro.
- *Fuente de partículas alfa*: elemento del que parte el experimento, el cual contenía la sustancia radiactiva y desde el que eran emitidas los haces de partículas alfa.
- *Haz de partículas*: que se dirige hacia la lámina de oro, y que contienen las partículas alfa .
- *Rendijas o colimador*: entre la fuente de la sustancia radiactiva y la lámina de oro colocaron una serie de rendijas. Estas eran atravesadas por algunas de las partículas alfa por un orificio que contienen, y otras partículas eran mismamente absorbidas por ellas.
- *Lámina/hoja de oro*: es el centro de la experiencia.
- *Pantalla fluorescente y/o película fotográfica*: que como ya se ha adelantado, servía para detectar la llegada de las partículas alfa a partir de ligeros destellos de luz emitidos que se observaban a partir del siguiente descriptor.

- *Elementos que permiten detectar los destellos emitidos por las partículas:* lupas o microscopios que eran colocados alrededor de la pantalla fotográfica y permitían ver dichos destellos.

4.3. Estudio del abordaje histórico presentado en los libros

Finalmente, la Historia de la Ciencia debe de ser introducida a los alumnos para ayudarles a contextualizar los eventos científicos, pero esta no debe ser presentada como largas listas de descubridores, ya que como se indica en el trabajo de Muñoz & Bertomeu (2003), estas pueden perder su función pedagógica y ser más un obstáculo que una ayuda a la hora de construir conocimiento. Por ello, se ha realizado un estudio del abordaje histórico de los libros de texto en sentido cuantitativo. Es decir, se ha identificado el número de referencias históricas que aparecen en la muestra de libros para enmarcar el contexto teórico del experimento de Rutherford y sus colaboradores. Se observó que algunos de los libros de texto acudían precisamente a lo citado, a presentar una lista interminable de autores, por ello, se ha creído conveniente tener en cuenta solamente aquellos autores que aparecían en dos o más libros de texto, identificando así hechos científicos que cobran importancia en el marco teórico del experimento de Rutherford. Se indican además, otros trabajos que aún siendo posteriores a la experiencia estudiada, los libros de texto los posicionan de manera errónea como experiencias previas a la estudiada. Estos, no han sido tenidos en cuenta a la hora de calcular el número citado.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se van a mostrar los resultados que se han obtenido a partir de la metodología detallada, y la discusión respecto de los mismos. El esquema de presentación de los resultados seguirá el mismo que se ha presentado en el apartado del diseño de la investigación.

5.1. Análisis de las categorías definidas para los textos.

En primer lugar, se presentan los resultados de la evaluación de cada una de las categorías que previamente se han introducido, con el fin de valorar si los libros de texto elegidos aportan o no aquellos elementos que se han justificado necesarios para ayudar a construir una imagen adecuada del experimento de la lámina de oro

realizado en el año 1909 a cargo de Rutherford y sus colaboradores, G&M (Niaz, 1998).

Los resultados obtenidos para este análisis son presentados de forma conjunta en la Tabla 2, en donde para cada uno de los libros sometidos a estudio se señala con “✓” cuando se ha considerado que la categoría está bien descrita en el texto. En el caso de que esa categoría no se describa correctamente, o que ni si quiera aparezca, se ha denotado con el símbolo “x”. Otras ocasiones se han añadido asteriscos a estos símbolos, más adelante cuando se comenten los resultados de cada categoría se mencionará el significado de estos.

En la muestra de libros analizada se ha encontrado que, por término medio, los libros emplean alrededor de página y media para introducir contenidos referentes no solamente al experimento de Rutherford en sí, sino también para detallar el modelo nuclear del átomo que Rutherford enunció a partir de los resultados obtenidos en su experimento.

Tabla 2. Resultados de los descriptores elegidos para la evaluación del contenido de los libros de texto de ambos cursos de bachillerato, en relación a la consecución del experimento mental de la experiencia de la lámina de oro realizada por Geiger y Marsden en 1909.

| Contenido del texto | | LIB1 | LIB2 | LIB3 | LIB4 | LIB5 | LIB6 | LIB7 | LIB8 | LIB9 | LIB10 | LIB11 | LIB12 | LIB13 |
|---|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Qué llevó a realizar ese experimento | | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | x | ✓ | ✓ |
| Uso de analogías | | x | ✓ | x | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | ✓ | ✓ |
| Sustancia radiactiva que contiene las partículas alfa | | ✓ | x(*) | x | x(*) | x(*) | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Partículas alfa son positivas | | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x | x |
| Existencia de una lámina de oro | | ✓ | ✓ | x | ✓✓ | ✓ | ✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓✓ | ✓ |
| Las partículas alfa y la lámina de oro | La atraviesan sin desviarse | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | Se desvían al atravesarla | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | Rebotan | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| La existencia de una pantalla fluorescente | | ✓ | ✓ | x | x | ✓ | ✓ | ✓ | x | x | x | ✓ | ✓ | x |
| Contenidos necesarios para forjar un experimento mental adecuado | | ✓ | x | x | x | x | ✓ | ✓ | x | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Modelo nuclear | | ✓ | ✓ | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ | ✓ | x | ✓ |
| Explicación del modelo a partir de los resultados del experimento | | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Resalta las limitaciones del modelo | | ✓ | ✓ | x | ✓ | x | ✓ | ✓ | x | x | x | x | ✓ | ✓ |

Qué llevó a realizar ese experimento

La experiencia del bombardeo de la lámina de oro con partículas alfa, fue llevada a cabo por los pupilos de Rutherford, G&M, con el fin de comprobar la teoría enunciada por Thomson de su modelo atómico, junto con otros experimentos entre los años 1909 y 1911. Por ello, lo que estos investigadores esperaban observar, era que dichas partículas positivas, al chocar con los átomos contenidos en la lámina de oro, atravesarían la lámina sin desviarse o, sufriendo ligeras desviaciones. Como se ha detallado previamente, eso no ocurrió así, sino que algunas de las partículas llegaban incluso a rebotar. Contrario a lo que era esperado de esta experiencia, no pudo ratificarse el modelo atómico de Thomson, lo que dio lugar a una reformulación de la teoría, y la aparición de un nuevo modelo atómico que sustituiría al previamente publicado.

Sorprendentemente solamente en el LIB7 se detalla con precisión este hecho: *“un experimento diseñado para confirmar el modelo de Kelvin-Thomson”*. Se ha tomado como adecuado también lo expuesto en otros tres libros (Tabla 2), en donde afirman que tal experiencia fue desarrollada con el fin de estudiar la estructura interna del átomo o de la materia, como puede leerse en LIB1: *“En 1906 Rutherford quiso demostrar la estructura de los átomos”* (LIB1); o lo señalado en LIB12 *“En 1911, a fin de obtener información acerca de la estructura de los átomos.”*

Varios de los textos no introducen el contexto histórico que llevó a estos investigadores a realizar la experiencia, directamente comienzan con la descripción de la misma. Pero lo que más llama la atención es que, hasta en tres ocasiones los textos señalan que el experimento fue realizado para *“comprobar experimentalmente la teoría nuclear de Rutherford”* (LIB8); o como se indica en el LIB11 *“la prueba definitiva de este modelo se obtuvo en la experiencia realizada por dos colaboradores suyos en 1913 (...)”*.

Se ha podido comprobar como los libros no son capaces de hacer un abordaje histórico apropiado, ya que no solamente indican distintos años en los que se realizó el experimento (1909), y posterior publicación del modelo atómico nuclear (1911), sino que además justifican de manera incorrecta que llevó a los investigadores a desarrollarlo, y además hasta en cinco textos se otorga la autoría del experimento solamente a Rutherford, sin aparecer G&M en todo lo referido al contenido estudiado. De esta forma, al no señalar que el modelo atómico de Thomson se vio relegado por

el experimento (o experimentos) que G&M hicieron, y que posteriormente dio pie a la publicación del modelo de Rutherford; no muestran un recorrido histórico adecuado de la teoría atómica.

Uso de analogías

Como ya se ha adelantado, la analogía empleada para caracterizar el modelo atómico de Rutherford, es la de asemejar este con un sistema planetario. El uso de analogías ayuda a los alumnos a comprender situaciones abstractas, situaciones que no pueden observarse fácilmente y que, además, son difíciles de intuir, de manera que se relacionan con otras que puedan resultar familiares (Dagher, 1995). Especialmente cuando se estudian al mismo tiempo los distintos modelos atómicos que se sucedieron en la historia, el uso de analogías ayuda al alumno, no solamente a comprender, sino a identificar cada uno de los modelos estudiados y de esta forma construir conocimiento. Por ello se esperaría encontrar este instrumento didáctico en un número superior de los libros que en los que se ha encontrado (Tabla 2). Sin embargo, menos de la mitad de los libros analizados llegaban a hacerlo, concretamente el 38% de los mismos. Este resultado coincide con lo expuesto en el trabajo de Fernández, González & Moreno (2003), en donde se muestran resultados acerca de porcentajes de analogías que aparecen en los libros de texto, y en el caso de bachillerato los textos contienen menor número de analogías que los de secundaria, aunque, por el contrario, son precisamente los temas dedicados a estructura atómica en donde más analogías aparecen.

En cuanto a los resultados obtenidos en relación a las analogías presentes en los textos evaluados, mientras que en algunos de los textos se presenta la analogía con una extensa explicación de la misma: *“a veces se denomina modelo planetario del átomo, comparándolo a un sistema solar en miniatura con el núcleo en el centro, a modo de sol, y los electrones girando a su alrededor, como los planetas”* (LIB4); en otros simplemente se señala que *“resulta análogo al sistema planetario”* (LIB10).

Sustancia radiactiva que contiene las partículas

Rutherford fue quien descubrió los tres tipos de radiaciones existentes, empleando las de tipo alfa para el presente experimento. Estas eran obtenidas a partir de la cadena de desintegración del radio, pero de nuevo es solamente en el LIB7 en donde consta con exactitud cuál fue sustancia radiactiva elegida: *“el radio, que emite partículas alfa a velocidades elevadas (10^7 m/s) y de forma uniforme.”* Indicando

además este texto que tal sustancia se encontraba contenida en un bloque de plomo (elemento que, como se verá al estudiar el uso que se hace de las figuras, la mayor parte de los libros solamente lo indican en estas). Los otros seis libros en los que se ha señalado que sí recoge este descriptor, hacen una descripción muy simple de la fuente de la cual provienen las partículas alfa, ya que lo único que mencionan es que estas eran “*procedentes de elementos radiactivos*” (LIB1); “*procedentes de una fuente radiactiva*” (LIB6). Por ello, un 61% del total de la muestra de libros, describe que son materiales radiactivos a partir de los cuales se obtienen las partículas alfa. Porcentaje mucho más elevado que el encontrado en el estudio de Cuéllar et al. (2005); en donde, para tal descriptor tan sólo encontraron que en el 13% de los libros este era mencionado.

Hasta en tres ocasiones se ha denotado el resultado de los libros para esta categoría con “x(*)”, esto quiere decir que solamente en las figuras, no en el texto, se señala la procedencia de las partículas. Por un lado, LIB4 y LIB5 señalan una fuente radiactiva; y por otro el LIB2 puntualiza indicando el mineral de uranio como fuente de las partículas. Este aspecto de introducir elementos solamente en las figuras se discutirá más adelante, pero se puede adelantar que en el caso de esta categoría debería de constar en el texto que al menos esas partículas procedían de una fuente, y no dejar caer todo ese peso a la figura, sin una introducción previa.

Para que el alumno pueda alcanzar un experimento mental adecuado deberá de conocer la carga eléctrica de las partículas que van a interceptar con la lámina de oro, para poder comprender el comportamiento de estas. Pero, en el caso de que los textos no mencionen cual era la sustancia concreta que actuaba como fuente de las partículas alfa, esto puede verse solventado con la presencia en el texto de la siguiente categoría.

Partículas alfa son positivas

Algunas de las categorías que se han definido pueden no aparecer en el apartado que los libros de texto dedican al experimento y modelo de Rutherford, sino que estas se encuentran en otros apartados de la unidad dedicada a los modelos atómicos. En el caso de esta categoría, solamente han sido tres libros de texto los que, al desarrollar el experimento de la lámina de oro, indicaban que el signo de las partículas bombardeadas era de signo positivo: “*un tipo de iones positivos*” (LIB5); o en otros de los casos (LIB11) va más allá en la descripción “*núcleos de helio, y por lo*

tanto con dos cargas positivas". Esta última parte de la descripción se echa en falta en el LIB2 que describe las partículas alfa tan sólo como "*núcleos de helio muy pesados*", y podría llevar al alumno a confusión, y no ser capaz de relacionar estos elementos con su carga positiva. En cinco de los libros evaluados, si se menciona la naturaleza positiva de las partículas, pero no se hace en el momento en el que es descrito el experimento, sino que se menciona al explicar los conceptos de radiactividad. Por lo tanto, estos textos no se han tomado como buenos en el sentido de si aparece esta categoría, ya que en algún caso (Fig.1) esta información aparece relegada a información contenida en los márgenes del libro, lo que no asegura que el alumno tenga el conocimiento requerido.

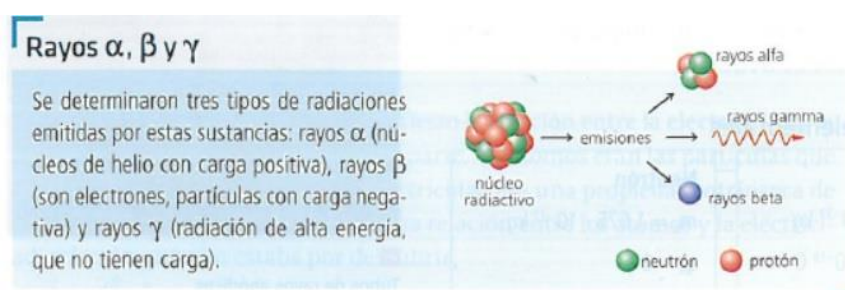


Figura 1. Explicación referente a los tres tipos de radiaciones descubiertas por Rutherford. Extraído del libro de texto LIB1. Editorial: Edelvives, 2016.

Existencia de una lámina de oro

El elemento central del experimento fue la fina lámina de oro que posicionaron entre la fuente emisora de partículas, y la película fosforescente en la cual se podía ver la llegada de dichas partículas una vez atravesaban la lámina. En realidad, el detalle de destacar que metal del que estaba hecha la lámina era el oro, no es tan importante (de hecho, hay libros que ni lo mencionan como es el caso de LIB7 y LIB9) como el hecho de que el espesor o grosor de esta fuese mínimo.

Recordando las propiedades de las radiaciones alfa, estas tienen muy poco poder de penetración, siendo incluso frenadas por una hoja de papel; de ahí que la lámina metálica que fue elegida por los investigadores contase con un espesor tan pequeño. Muchos textos simplemente indican que se trataba de una fina lámina de oro, pero sin embargo otros caracterizan ésta con cantidades exactas: "*de unos $10^{-7}m$ de espesor (no más allá de unos 200 átomos de oro)*" (LIB4); "*de $10\ \mu m$ de espesor (...). Como la lámina tenía 2.000 átomos de espesor*" (LIB8). Se observa que los textos no se ponen de acuerdo en cuanto al número de átomos que contenía la lámina de

oro, y además otros utilizan unidades de medida que pueden llevar a confundir al alumno, ya que el uso de una unidad como el angstrom (\AA) (en el LIB12 se puede leer: “*de unos 5.000 \AA de espesor, que contiene unos dos mil átomos*”), no resultará familiar a la hora de imaginar un espesor muy pequeño en su mente.

Siguiendo con el espesor medido en átomos, son precisamente los libros que se destacan con doble \checkmark aquellos en los que se identifica el espesor de la lámina de oro con su contenido en átomos. El resto de los libros no hace ninguna mención a los átomos con los que interactuarán las partículas alfa bombardeadas contra ella, lo que pondrá más difícil al alumno el poder ejecutar en su cabeza el experimento mental. Atendiendo a este alto porcentaje (algo más del 60%) de libros; valga de ejemplo el texto encontrado en el LIB2: “*bombardearon una finísima capa de oro con partículas alfa*”; se puede pensar que las partículas fueron emitidas y posteriormente interceptadas por la lámina, como si esta se tratase de una barrera para ellas, siendo esto todo lo contrario a lo que ocurrió en la experiencia.

La descripción más correcta, y que más ayudaría al alumno para elaborar el experimento en su mente, es la que se encuentra en el LIB7, en donde se describe: “*del bombardeo de partículas alfa sobre los átomos metálicos*”. De esta forma el alumno no identificaría la lámina de oro como tal, como un elemento plano, sino que, siendo ahora consciente de la composición interna de la misma, si podría imaginar que existe una interacción interna entre las partículas y la “lámina” de oro.

Las partículas alfa y la lámina de oro

Cuando G&M idearon este experimento, bajo la supervisión de Rutherford, jamás hubiesen imaginado observar que las partículas alfa eran capaces de desviarse con ángulos superiores a 90° una vez interceptaban con la lámina de oro. La mayor parte de las pesadas partículas alfa, tal y como pensaban que ocurriría dado el modelo de Thomson, eran capaces de atravesar la lámina de oro sin sufrir ninguna desviación, o desviaciones muy pequeñas. Estas eran observadas en la pantalla fluorescente que se colocó para tal fin, a modo de destellos luminosos. Pero para su sorpresa, y lo que llevó a Rutherford a reformular el modelo atómico de Thomson, muy pocas partículas alfa (1 de cada 20.000), se mostraban incapaces de atravesar la lámina metálica, rebotando al ser repelidas.

Con excepción del LIB3, que tan sólo enmarca el modelo de Rutherford en una línea cronológica (hay que recordar que se trata de un libro de 2º de bachillerato de la LOMCE, y el modelo de Rutherford no se encuentra en los contenidos de dicha asignatura); el resto de los libros detalla el comportamiento de las partículas alfa observado por los investigadores. Sin embargo, en el LIB9 da por hecho que el lector va a relacionar este experimento con el modelo de Thomson, y no destaca en ningún momento que la mayor parte de las partículas atravesaban la lámina sin impedimento alguno (sí que relata el comportamiento de dispersión encontrado). La mayoría de los libros utilizan el verbo “rebotar” para referirse a la dispersión de más de 90º de las partículas al llegar a la lámina. En el caso del LIB4 para referirse a las partículas que no eran capaces de atravesar la lámina de oro señala *“otras (muy pocas) eran rechazadas o sufrían desviaciones muy importantes”*. La expresión más adecuada, y sin olvidar que en este trabajo se están evaluando los contenidos necesarios para que los alumnos puedan elaborarse un experimento mental a partir del texto; es la que descrita por el LIB8: *“se comprobó que algunas eran repelidas”*. Esto es lo que ocurría, la partícula con carga positiva se encontraba con su misma carga al penetrar en la lámina y le hacía retroceder.

Todos los textos, salvo la excepción comentada, destacan tres trayectorias de las partículas: i) la mayor parte de ellas que atraviesan la lámina de oro sin desviarse, ii) las que sufren ligeras desviaciones con respecto de su trayectoria original y, iii) las que son repelidas/rebotadas/rechazadas. Pero, estos no coinciden a la hora de caracterizar la cantidad de partículas que fueron repelidas o que sufrieron fuertes desviaciones. Mientras que unos hablan del número exacto de partículas: *“las menos (1 de cada 20.000) experimentan grandes desviaciones e, incluso, rebotan”* (LIB5); *“otras (una de cada 20.000) eran rechazadas por la lámina”* (LIB13); otros simplemente indican *“un porcentaje muy pequeño sufría pequeñas desviaciones y un número extraordinariamente pequeño de partículas alfa rebotaban”* (LIB7). En ninguno de los libros se indica el número de partículas que se emiten para hacer el experimento, por lo que al lector le puede llevar a equivocación esta cantidad de partículas desviadas, ya que no tiene una cantidad de referencia a partir de la que entender este resultado

Trabajos previos en los que se ha realizado un análisis del reflejo por parte de los libros de texto de cursos de bachillerato (Niaz, 1998; Páez et al., 2004); describen

como un criterio fundamental el que los textos expliquen que el hallazgo más importante al realizarse el experimento de la lámina de oro era que tan sólo una de veinte mil partículas era desviada con importantes ángulos; no así el ángulo preciso de desviación. En la muestra empleada en estos trabajos, un total de 27 libros, ninguno describe satisfactoriamente este hecho. Por el contrario, en la muestra de libros que se ha empleado en este trabajo, 11 de los 13 textos cumplirían satisfactoriamente con el criterio establecido por esos trabajos.

En cinco de los textos evaluados se menciona lo que G&M esperaban encontrarse al ejecutar su experimento, en función del modelo de Thomson, como en el LIB12: *“ya que sus átomos tendrían la carga positiva uniformemente distribuida según el modelo postulado por Thomson”*. Además de poder ayudar al alumno en el ejercicio propuesto de la consecución del experimento mental de la experiencia de G&M, al haber estudiado previamente el modelo de Thomson, si ha adquirido ese conocimiento podrá relacionar los hechos con mayor facilidad. De la misma forma, eso le permitirá reforzar los conocimientos y seguir construyendo conocimiento.

La existencia de una pantalla fluorescente

Cerca de la mitad de los libros evaluados (ver Tabla 2), mencionan en el texto la existencia de una pantalla fluorescente de sulfuro de cinc, la cual se colocó alrededor de la lámina de oro. La intención de tal pantalla, no fue otra que observar la llegada exacta de las partículas alfa, ya que estas, al incidir sobre la pantalla, emitían un pequeño resplandor de luz. Fue a partir del tedioso conteo de las fosforescencias y otros cálculos estadísticos, como se llegó a inferir el modelo nuclear de Rutherford (Uribe & Cuellar, 2003). Sin embargo, los textos no le dan la importancia que le merece a tal circunstancia, simplemente es descrita como un elemento más del experimento, sin caer en la cuenta de que serán las observaciones sobre esta las que permitirían describir las predicciones del modelo nuclear.

5.1.1. ¿Permiten los textos de los libros evaluados al alumno forjarse un experimento mental?

A pesar de la importancia que los experimentos mentales han tenido en el desarrollo de la ciencia, y tratarse de un instrumento pedagógico muy importante a tener en cuenta por parte del profesorado (Oliva, 2013; Macías, Mejía & Aguilar, 2015); no se suele recurrir a este con mucha frecuencia. A partir de ellos, pueden introducirse en el aula situaciones o experiencias que debido a sus características (empleo de

sustancias radiactivas, introducción de un gato en una caja, un ascensor, etc.), no pueden trasladarse a ella.

Hasta aquí se han detallado los resultados observados para cada uno de los descriptores que se han considerado indispensables en los textos para que los alumnos a partir de su lectura, sean capaces de poder desarrollar un experimento mental a partir de la experiencia que G&M realizaron en el laboratorio, y que, debido a la naturaleza de esta, no puede ser repetir en un laboratorio por parte de alumnos de bachillerato.

Como puede apreciarse en la tabla que contienen los resultados para dichos descriptores (Tabla 2), se ha obtenido que son siete libros que presentan los contenidos necesarios, o que los descriptores propuestos son definidos de manera favorable, para que pueda forjarse un experimento mental de manera favorable. Estos libros, son aquellos que han presentado 6 o más descriptores correctamente. En el caso de los libros 2, 4, y 5 (coinciden con aquellos libros en los que el contenido referente a la sustancia radiactiva se señala con un asterisco), aunque estos alcancen tal número de descriptores, si solamente se considera el texto para su consecución, no pueden aceptarse, ya que relegan a las figuras información muy importante que debe de ser considerada. Esto podrá comprobarse en el apartado del trabajo en el cual se detallan las figuras que acompañan a cada uno de los textos.

5.1.2. Otros descriptores

En la tabla de resultados referidos a los contenidos de los textos (Tabla 2), al final de esta, se han añadido otras tres categorías. El objeto de estudio con estas, no recaía sobre la experiencia en sí, sino en cuanto al modelo atómico fruto de esta experiencia entre otras. Se pretende evaluar si los libros de texto presentan en sus contenidos, las aportaciones que Rutherford hizo a la Ciencia a partir de los experimentos realizados, y que no se trate el experimento como un hecho aislado.

Modelo nuclear

A partir de los experimentos llevados a cabo, Rutherford enunció un nuevo modelo atómico, en el que el átomo contenía en su centro un pequeño volumen denso y cargado positivamente, al que denominó núcleo, girando alrededor del cual se posicionaba la carga negativa, los electrones. Fue la introducción del núcleo en la

historia atómica, un elemento clave, de ahí que los libros de texto se refieran al modelo de este, como modelo nuclear.

Con esta categoría tan solo se pretende evaluar si los libros de texto denominan al nuevo modelo atómico presentado por Rutherford de esta forma. Dándole tan nomenclatura, los alumnos pueden relacionar claramente el modelo de Rutherford con el descubrimiento del núcleo, pudiendo así construir conocimiento. En seis casos se ha denominado al modelo de esta forma, mientras que en el resto de los textos se explica el modelo con todos los elementos, pero sin nombrarlo de esa forma.

Explicación del modelo a partir de los resultados del experimento

Todos los libros relacionan con mayor o menor detalle, los resultados obtenidos de la experimentación de los colaboradores de Rutherford, con las hipótesis del modelo atómico publicado en 1911. Incluso en el LIB3, aunque se considera que no lo hace adecuadamente, se hace referencia a que Rutherford enunció su modelo a partir del experimento que sus colaboradores llevaron a cabo: *“Rutherford propone un modelo atómico coherente con la experiencia”*. Aunque en este punto hay que destacar que el 100% de los libros presenta la experiencia de G&M como un hecho aislado y único (Cuéllar et al., 2005), describiendo esta como la única experiencia que se realizó para llegar a la definición del modelo. Este hecho se aleja mucho del proceso de indagación científica, ya que los experimentos científicos son realizados en distintas ocasiones hasta poder elaborar una teoría. En el caso del LIB8, se realiza una buena relación de los hechos observados en el experimento, con respecto de las presunciones del modelo: *“como la lámina tenía 2.000 átomos de espesor y la mayor parte de las partículas alfa la atravesaban sin dificultad, parecía lógico afirmar que los átomos estaban formados, en su mayor, por espacio vacío. Ahora bien, como algunas partículas alfa eran repelidas fuertemente, debía de existir una pequeña región en el átomo cargada positivamente que fuera responsable de esa desviación”*.

Algunos de los textos sí llegan a mencionar que bien Rutherford, o bien G&M, se encontraban experimentando con partículas alfa, pero a la hora de introducir el modelo nuclear, todos coinciden en que solamente esta experiencia fue llevada a cabo (sin volver a mencionar que hay textos que ordenan cronológicamente primero la publicación del modelo, y segundo la experiencia). El LIB7, lo expone de la siguiente forma: *“Con el objetivo de justificar los nuevos hechos experimentales, Rutherford*

propuso (1911) un modelo atómico en el que el átomo estaba constituido por una zona central muy reducida, de carga positiva (...).

Resalta las limitaciones del modelo

De la misma forma que el modelo de Rutherford relegó el modelo del átomo macizo con carga positiva y electrones embebidos en este, enunciado por Thomson, el modelo atómico de Böhr sucedió en la historia de la teoría atómica al modelo nuclear. El modelo de Rutherford constituye una paradoja significativa de la Historia de la Ciencia (Oliva, 2003), ya que este modelo se encontraba ante la imposibilidad de explicar al mismo tiempo la estabilidad del átomo y la teoría electromagnética, descrita por Maxwell. Fruto de la necesidad de explicar la estabilidad paradójica del modelo de Rutherford surgió el modelo de Böhr (Páez et al., 2004), aunque como ocurriese con la intención del experimento de G&M, los libros de texto no lo describen así, lo que coincide con los resultados observados en el trabajo de Paéz et al. (2004).

Con excepción del LIB8, todos los textos presentan las limitaciones que tenía el modelo de Rutherford, a continuación de haber detallado el propio modelo. En la excepción mencionada, lo hace dos páginas más adelante en el tema, tras haber introducido los espectros electromagnéticos, y ya dentro del apartado dedicado al modelo atómico de Böhr: *“de acuerdo a los postulados de la física clásica, el átomo de Rutherford no es estable (...). En esencia, Böhr aplicó el modelo nuclear de Rutherford y la teoría cuántica de la radiación de Planck al átomo de hidrógeno”*.

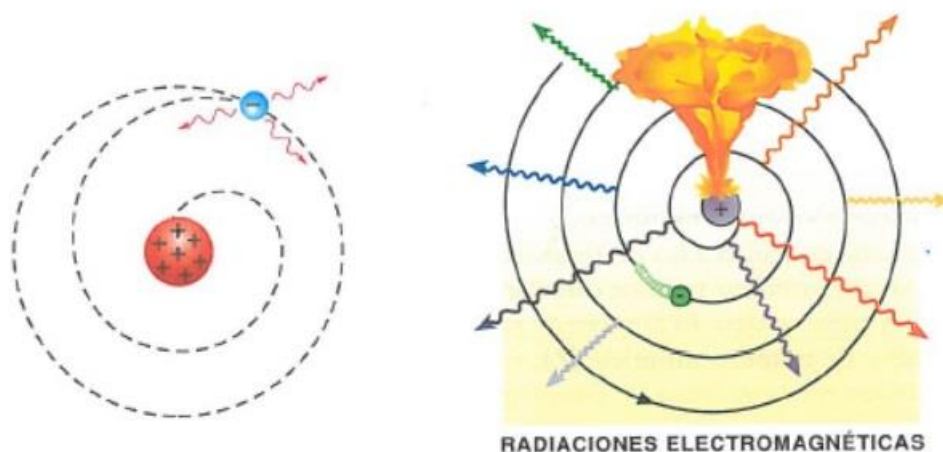


Figura 2. Limitaciones del modelo atómico de Rutherford. A la izquierda en una órbita circular, el electrón acabaría precipitándose hacia el núcleo, al perder la energía cinética. A la derecha, representación del colapsamiento del átomo de Rutherford según la teoría electromagnética. Ambas ilustraciones extraídas de los libros LIB1. Editorial: Edelvives, 2016. LIB4. Editorial: Bruñó, 2015, respectivamente.

Las limitaciones del modelo son acompañadas con ilustraciones (Fig. 2) en tres de los libros evaluados, apoyando así de forma gráfica la paradoja expuesta que supone la estabilidad del átomo descrito por Rutherford. En esta se representa la estructura atómica constituida por un núcleo central, con carga positiva, alrededor del cual orbitan los electrones con carga negativa con aceleración normal. Pero, de ser así, y de acuerdo a la teoría electromagnética, cualquier carga eléctrica que se encuentre en movimiento emite energía (trayectorias ondulatorias de colores que se dibujan en la figura), y acabaría describiendo la trayectoria elíptica descrita hasta chocar con el núcleo.

5.2. Análisis de las categorías definidas para las figuras

Las figuras en los libros de texto de Ciencia cobran suficiente importancia como para considerarlas como objeto de análisis, del mismo modo que se hace con los textos (Perales & Jiménez, 2002). Además, estas, permiten desarrollar mayor creatividad en los alumnos (Kasmaienezhadfar et al., 2015), pudiendo motivarles a leer el texto que las acompaña y, hacer que dichos textos cobren la importancia que merecen (Peeck, 1993).

Para este análisis, se han utilizado las imágenes que acompañan a los textos en cada uno de los libros evaluados, sin tener en cuenta las fotografías que en algunos libros aparecían con los protagonistas (Rutherford o G&M). Cabe destacar que solamente en cuatro de los libros aparecen imágenes en las que los científicos eran los protagonistas. En tres de ellos (LIB1, LIB5 y LIB11), aparece una imagen de Rutherford; mientras que solamente en el LIB2 se muestra una fotografía de este junto a Geiger en la que podría ser alguna de sus reuniones ideando los experimentos que idearon. En ninguno de los libros aparecen fotografías en las que se muestren los laboratorios en los que se llevó a cabo el experimento, lo que coincide con la reflexión de Farías (2012), en donde se relaciona la ausencia de imágenes de los lugares de trabajo en los libros con la deslocalización, poniendo de manifiesto la inexistencia de conexión entre la ciencia de las aulas y la ciencia real, entendiendo por esta la que se realiza en laboratorios. De la misma forma, en los textos tampoco se menciona el departamento de Física de la Universidad de Manchester, donde Rutherford instruyó a sus pupilos y, por consiguiente, en donde se realizaron los experimentos.

Por lo tanto, se han evaluado las ilustraciones y esquemas con pie en la propia figura o dentro del texto. Al igual que para los textos, se establecieron una serie de

descriptores, ya introducidos en el diseño de la investigación, con el fin de evaluar si las figuras que contenían los libros de textos poseían los elementos necesarios para poder ayudar a los alumnos a crear en su mente un experimento mental basado en la experiencia de la lámina de oro, y los resultados con respecto de dicha evaluación se detallan en la tabla 3. Al tratar en los libros los modelos atómicos, se ha comprobado que es precisamente el modelo de Rutherford el que cobra mayor importancia (Farías, 2012), y al que mayor número de figuras se le asocian. En este trabajo, se han encontrado de media dos figuras y medias relacionadas con el experimento de G&M y modelo de Rutherford, para el total de los libros evaluados; ilustrándose estos con menor o mayor detalle en función del libro de texto.

Tabla 3. Resultados de los descriptores elegidos para la evaluación de las figuras que contienen los libros de texto de ambos cursos de bachillerato, en relación a la consecución del experimento mental de la experiencia de la lámina de oro realizada por Geiger y Marsden en 1909.

| Contenido de las figuras | LIB1 | LIB2 | LIB3 | LIB4 | LIB5 | LIB6 | LIB7 | LIB8 | LIB9 | LIB10 | LIB11 | LIB12 | LIB13 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Número de figuras utilizadas | 2 | 3 | 0 | 5 | 1 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| Visión macroscópica | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Modelo microscópico | ✓ | ✓ | x | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Fuente de partículas alfa | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Haz de partículas | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Lámina/hoja de oro | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Rendijas/colimador | ✓ | x | x | ✓ | ✓ | ✓ | x | x | x | ✓ | x | x | x |
| Pantalla fluorescente y/o película fotográfica | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ |
| Elementos que permiten detectar los destellos emitidos por las partículas | x | x | x | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x |

Visión macroscópica

En esta categoría se enmarcan las figuras en las cuales, de manera macroscópica, se aprecian los elementos que formaron parte del experimento de G&M. Se observa que, a la excepción hecha del LIB3, la totalidad de los libros de texto acompañan al texto con una figura en la que se enumeran todos, o casi todos, los componentes del experimento. En algunas ocasiones, como se irá viendo, incluso aparecen en la figura elementos que no fueron detallados en el texto. Por lo tanto, se puede comprobar que en los libros también se debe de tener en cuenta las figuras que se incluyen. En la figura 3, se muestran dos ejemplos de perspectivas macroscópicas del experimento para dos de los libros. Arriba, es el esquema presentado en el LIB11 para mostrar el experimento del bombardeo de partículas alfa sobre una lámina metálica. Aunque en esta figura aparentemente se den los elementos fundamentales,

no se acompaña de ningún texto que describa de que se tratan, algo que parecería fundamental en este caso. Por tanto, esta figura no ayudaría al alumno a forjarse un experimento mental de lo que está ocurriendo. Abajo (Fig. 3), por el contrario, se presenta la figura que aparece en el LIB4, en donde están todos los elementos que fueron necesarios para desarrollar el experimento.

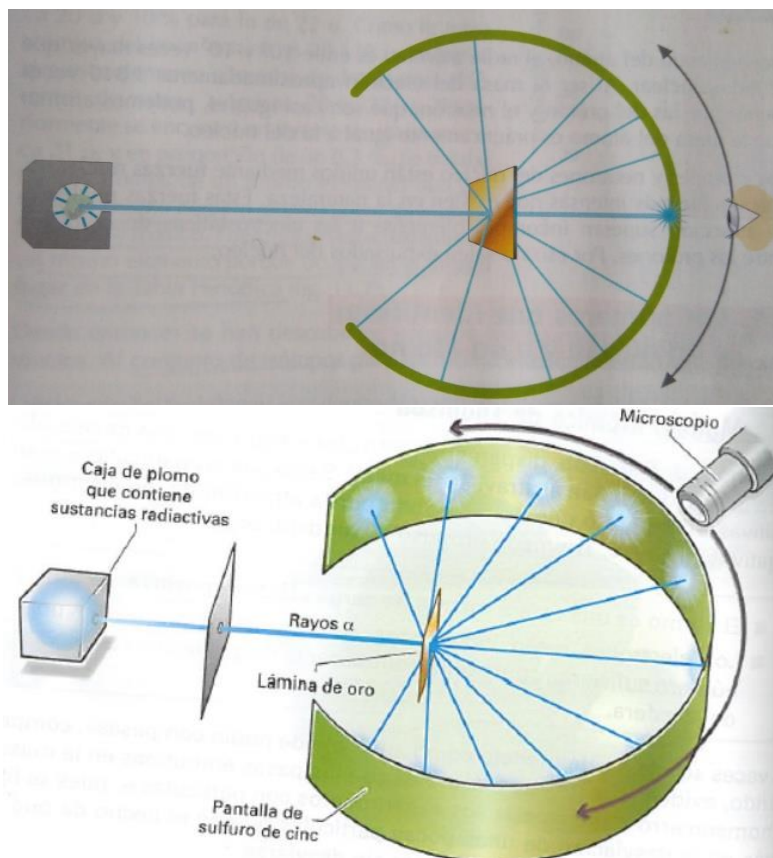


Figura 3. Figuras del modelo macroscópico de la experiencia de G&M. Arriba, LIB11. Editorial: Bruñó, 2002. Abajo, LIB4. Editorial: Bruñó, 2015.

En el modelo de abajo, solamente se observa que no se ha señalado qué es el rectángulo plateado que se encuentra entre la caja de plomo de la cual salían las partículas alfa, y la lámina de oro. Se trata de un colimador, que, aunque en ninguno de los textos evaluados aparecía, más adelante en la presente memoria se describirá su importancia en el experimento.

Ambas figuras fueron publicadas en libros de una misma editorial, aunque con una diferencia en el tiempo de trece años. Se puede poner con ello de manifiesto, y como se ha podido comprobar al comparar las figuras de todos los libros de texto evaluados; que con los años las figuras han ido siendo mejoradas, y en la mayoría de

los casos no solamente en términos estéticos, lo que salta a la vista, sino también en la introducción de los elementos.

Modelo microscópico

En esta categoría se incluyen las imágenes destinadas a la representación de aspectos de índole teórica, en donde se pueden ver representaciones de átomos y moléculas, así como la interacción de estos con las partículas alfa. Se trata por tanto de ilustraciones destinadas a explicar de manera descriptiva y a escala microscópica, qué llevó a Rutherford a enunciar el modelo nuclear del átomo, y mostrar como era ese átomo característico por contener en su centro un núcleo con carga positiva.

Este tipo de figuras, se hacen especialmente necesarias al explicar conceptos como el del desvío de las partículas alfa, porque los textos en muchas ocasiones no son capaces de captar la importancia que tienen esas interacciones, y por ello el recurso visual se hace imprescindible. En nueve de los trece libros aparecen ilustraciones en las cuales se representa la interacción de las partículas alfa con los átomos contenidos en la lámina de oro, aunque en algunos casos se presenta la figura sin hacer mención a ella en el texto, ni en su pie indica de que trata (Fig. 4a). En estos casos, la explicación del profesor tiene que verse implicada, ya que, es un elemento clave para que el alumno pueda concebir en su imaginario el experimento mental. Así, por ejemplo, si no sabe que los “círculos atravesadores por líneas” son los átomos y los haces de las partículas, el experimento mental no podrá ser imaginado de manera correcta. Sin embargo, otras ilustraciones, como en el LIB12, (Fig. 4b) indican cada uno de los elementos, que ya habían indicado en el cuerpo del texto, facilitando de esta forma la comprensión del fenómeno, reafirmando los contenidos.

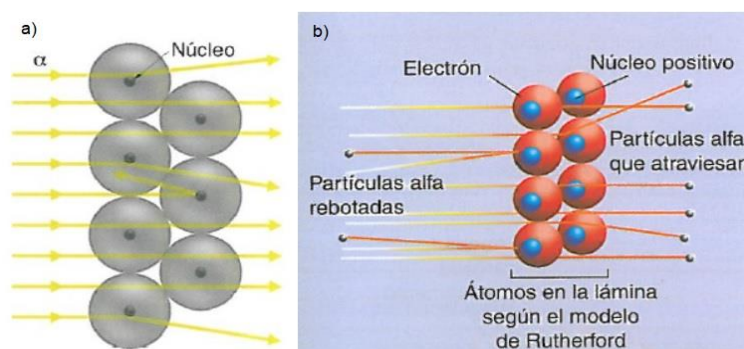


Figura 4. Ilustraciones extraídas de los libros de textos evaluados sobre el comportamiento de los átomos metálicos y las partículas alfa que inciden sobre estos. a) Extraído del LIB9. Editorial: SM, 2002. b) Extraído del LIB12. Editorial: McGraw Hill, 2002.

Más ejemplos del comportamiento de las partículas alfa en las figuras de los libros de texto, puede verse en la figura 5. En el caso del LIB4 (Fig. 5a), no lleva acompañado ningún pie de figura que detalle de qué se trata esta. Pero, por el contrario, el texto al que acompaña, sí que denota todos los detalles, y, además, se ha colocado junto a la figura del experimento (esta se corresponde con la representada en la parte inferior de la Fig. 3) guardándose así la misma gama de colores, lo que permite que el alumno pueda relacionar que las líneas azules, los haces de partículas, son lo mismo en ambos casos. En este ejemplo, los autores deberían de guiar al lector en la interpretación, es decir, hacer constar que el conjunto de átomos pertenece al interior de la lámina de oro. Un ejemplo en el que se puede apreciar como las imágenes sirven para complementar al texto, es en el LIB7 (Fig. 5b), ya que en el discurso escrito no se menciona la carga positiva de las partículas alfa, y en la figura, además de indicar cuáles son estas partículas, señala sus dos cargas positivas. Los átomos metálicos parecen haber sido retratados siguiendo el modelo de Thomson, idea de la que partían al hacer el experimento; ya que dan la impresión de ser esferas macizas. En el pie de esta figura puede leerse: *“Representación del bombardeo de columnas de átomos de partículas alfa”*, hubiese sido más preciso decir “(...) con partículas alfa”. En cualquier caso, en este ejemplo se echa en falta ver el paso siguiente, que es lo que ocurre cuando las partículas positivas chocaban con los átomos macizos, como se indica en el LIB10 (Fig. 5c). Su pie de figura indica que se trata de la *“trayectoria de las partículas alfa al atravesar los átomos”*, aunque el texto no indica que estos átomos se encuentren en la lámina de oro, por lo que alumno podría no saber la ubicación de esos átomos, lo que conllevaría a equivocaciones en el experimento mental. Las partículas alfa son las esferas moradas que siguen la trayectoria marcada por la línea negra hasta colisionar con los átomos metálicos, las esferas amarillas. En esta ilustración ya se ha dibujado el átomo tal y como Rutherford lo definió, con el núcleo central (esfera naranja).

Como se ha podido comprobar los libros de texto presentan gran variedad de estilos a la hora de representar el comportamiento de las partículas alfa, pero se hace necesario que estas estén introducidas bien por un pie de figura, o bien con leyendas que indiquen de qué se tratan los elementos, para hacer una correcta relación de elementos.

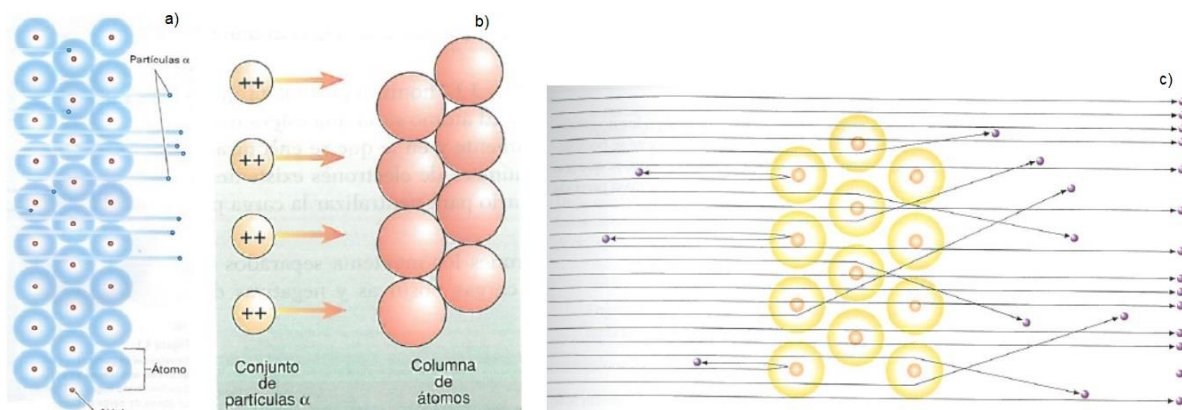


Figura 5. Continuación de ilustraciones extraídas de los libros de textos evaluados sobre el comportamiento de los átomos metálicos y las partículas alfa que inciden sobre estos. a) Extraído del LIB4. Editorial: Bruñó, 2015. b) Extraído del LIB7. Editorial: ECIR, 1999. c) Extraído del LIB10. Editorial: Edelvives, 2002.

Dentro de esta categoría se han observado otro tipo de figuras (Fig. 6), en las que se relaciona el comportamiento de las partículas alfa con el modelo de Thomson. En el texto del LIB2, se llama a una figura (Fig. 6a) la cual muestra como hubiese sido el comportamiento de las partículas alfa al atravesar los átomos metálicos de haber sido cierto el modelo de Thomson, en donde todas las partículas atraviesan el átomo sin sufrir desviaciones en su trayectoria. Esto le sirve al alumno para poder rechazar el modelo ahora de forma visual, ya que en el texto ha podido leer el comportamiento de estas partículas alfa, y que algunas no siguieron el patrón que se describe en la figura. El LIB8 va más allá y enfrenta ambos modelos, Thomson y Rutherford, en una misma figura (Fig. 6b). En amarillo se observan los átomos con la estructura del modelo de Thomson, y como los haces de partículas alfa (no indicado) atraviesan sin sufrir desviaciones estos átomos. En azul, el comportamiento real observado, en donde algunas trayectorias permanecían inalteradas al igual que con el modelo de Thomson, otras sufrían ligeras desviaciones, y las más importantes, eran rebotadas. Esta ilustración que confronta ambos modelos, ayuda al alumno a entender el experimento, ya que visualiza los tipos de trayectorias en función de la estructura del átomo.

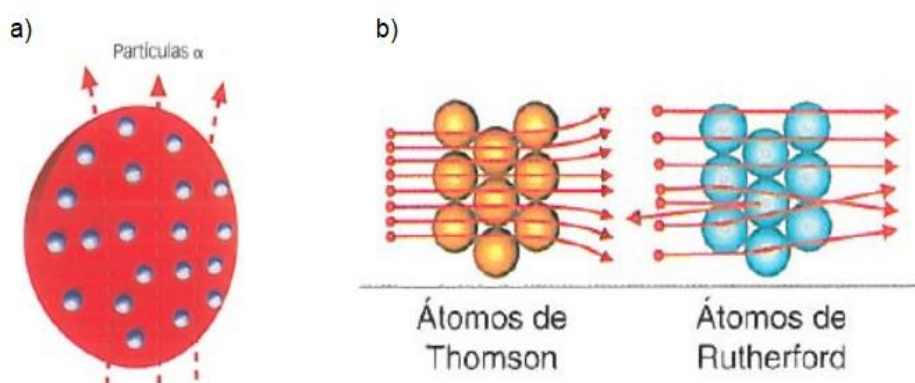


Figura 6. Comportamiento de las partículas alfa en función de los modelos atómicos. a) Extraído del LIB2. Editorial: Santillana, 2016. b) Extraído del LIB8. Editorial: Anaya, 2002.

Fuente de partículas alfa

Con excepción del LIB8, el resto de figuras presentan en las ilustraciones referidas al experimento, el bloque o protección de plomo que alberga en su interior la sustancia radiactiva (Fig. 7b y c), aunque en algunos casos, como se aprecia en la figura 3, no se nombra en ella. Aunque en ninguno de los textos se señala, pero sí que se nombra en las figuras, el hecho de que la sustancia radiactiva estuviese contenida en una protección de plomo no fue un hecho casual. El plomo es un material de gran densidad, y por lo tanto el material radiactivo no podría escapar a través de este, solamente a partir de la apertura facilitada para ello.

En el LIB8 (Fig. 7a), se muestra directamente la existencia de las partículas alfa, pero sin representar ninguna estructura como fuente de la cual provienen. Algunas figuras tratan de dar realismo iluminando la sustancia radiactiva (Fig. 7a y b).

Haz de partículas y lámina/hoja de oro

No cabe pensar en una ilustración en la que no se representen ni las partículas alfa ni la lámina metálica que estas debían de atravesar, ya que estos son los elementos principales del experimento. Es por ello que se han encontrado representadas en todas las figuras evaluadas, tal y como puede comprobarse a partir de las figuras que en este trabajo se han ido mostrando.

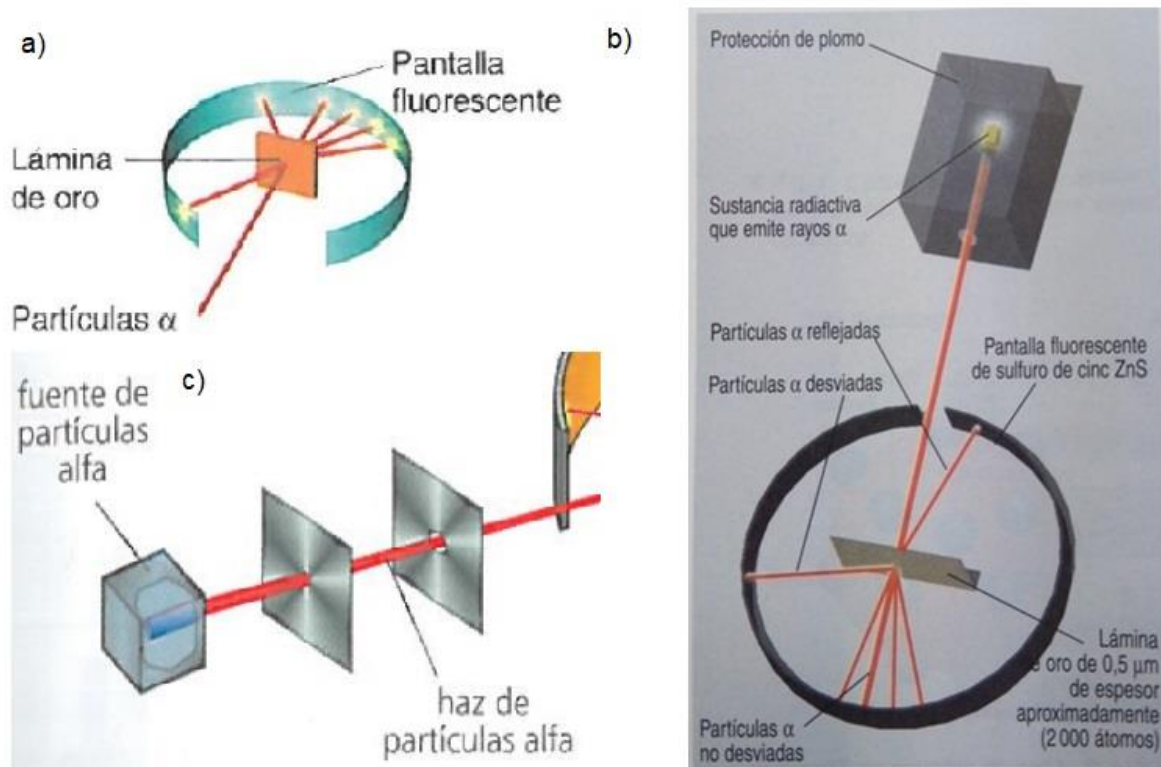


Figura 7. a) Representación del experimento de Rutherford en el que no se representa la fuente emisora de las partículas alfa. Extraído del LIB8. Editorial: Anaya, 2002. b) Ilustración en la que pueden verse descritas las distintas trayectorias seguidas por las partículas alfa, en función de su interacción con los átomos metálicos. Extraído del LIB13. Editorial: EDEBÉ, 2008. c) Fragmento del experimento de G&M en donde puede verse entre la fuente de partículas y la pantalla fluorescente, la existencia de colimadores a través de los cuáles pasaban las partículas alfa. Extraído del LIB1. Editorial: Edelvives, 2016.

Respecto del haz de partículas, hay algunas figuras en las que no se acompaña de texto a las líneas que salen de la sustancia radiactiva para indicar que estas son las propias partículas alfa; pero, sin embargo, sí que lo detalla cuando estas impactan con la pantalla fluorescente. Algunas de las figuras muestran con mucho detalle las distintas trayectorias de las partículas, como en LIB13 (Fig. 7b), en donde no solamente lo representan en la figura, sino que además acompañan con texto las distintas trayectorias que las partículas han seguido. El texto de este último libro, no mencionaba que la lámina de oro que atravesaban las partículas alfa poseía átomos, con los cuáles interaccionarían; pero como puede comprobarse, esa información la presenta en la figura del experimento.

Rendijas/colimador

En cinco de los libros aparece este elemento, aunque en ninguno de los textos, ni siquiera en los que en sus figuras aparecen, mencionan su existencia. Las rendijas, o colimadores como algunos libros denominan (Fig. 7c); poseían el mismo material

que la cubierta de la sustancia radiactiva, plomo, y su misión era la de generar el haz de partículas alfa que impactaba con la lámina de oro.

Al no mencionarse en ningún libro su existencia, ni cuál era la intención de estos elementos, que el alumno se encuentre con este elemento en las figuras puede llevarle a realizar interpretaciones incorrectas, ya que, aunque se han dibujado con un color metalizado, se trataba de plomo aunque no se indique; que lo diferencia del oro, podría pensar que se trata de otra lámina metálica con la que interactúan las partículas alfa, y que en este caso si son capaces de atravesar todas sin sufrir ningún tipo de desviación. Y realmente así fue, estos se colocaron entre la fuente emisora de la sustancia radiactiva y la lámina de oro, pero con una intención distinta. En este caso, lo que se pretendía con estas láminas de plomo era dirigir las partículas alfa a la lámina de oro en forma del haz característico que se menciona continuamente en los textos, ya que poseían una apertura por la que algunas partículas pasaban, y el resto, las que no accedían por la ranura eran absorbidas.

Pantalla fluorescente y/o película fotográfica

Esta pantalla permitía observar la llegada exacta de las partículas alfa una vez había interactuado con los átomos contenidos en la lámina de oro, a partir de un ligero destello de luz que estas emitían, "*scintillation*" como los propios descubridores denominaron (Geiger & Marsden, 1909), gracias a la naturaleza luminiscente del sulfuro de cinc (material de la pantalla). Fue de esta forma como pudieron observar que no todas las partículas seguían una trayectoria recta, sino que algunos de los centelleos podían observarse en localizaciones distintas de las esperadas. Aunque todas las figuras relativas al experimento de Rutherford cuentan con la presencia de esta pantalla, en el LIB11 (representado en la ilustración superior de la Fig. 3), no queda representado con claridad que se trata de tal elemento, ya que aparece como si se tratase de una curvatura, que podría tratarse de una frontera impuesta para que las partículas llegasen.

Como se comentaba anteriormente, muchas figuras ayudan a dar dinamismo a las mismas a partir de la representación de la irradiación luminosa de las partículas al incidir sobre esta pantalla, simplemente pintando como si se tratase de un halo de luz en la posición final de la partícula alfa (Fig. 7a). Pero la interacción de las partículas alfa con la pantalla de sulfuro de cinc, no era visible a simple vista, sino que contaron con elementos para ayudarse, como se describe en la siguiente categoría.

Elementos que permiten detectar los destellos emitidos por las partículas

Los centelleos que producían las partículas alfa al interaccionar con la pantalla eran tan ligeros que no podían ser detectados sin elementos como microscopios o lupas. Por tanto, los investigadores se sirvieron de estos elementos para poder detallar con precisión la desviación de las pequeñas partículas alfa. Sin embargo, este elemento pasa desapercibido tanto para los textos, solamente se menciona en el LIB6: *“donde producían un destello luminoso observable mediante una lupa”*, como para las figuras; ya que solamente se ha encontrado presente en el LIB4 (Fig. 3 inferior), en donde se ha representado un microscopio por detrás de la pantalla fluorescente. Por lo tanto, los alumnos en su experimento mental van a imaginar una pantalla de la que constantemente se desprenden emisiones luminosas y que pueden ver con sus propios ojos (como puede interpretarse en la ilustración superior de la Fig. 3). Esto no supondrá un grave error en la construcción del experimento mental, pero sí que les puede llevar a una comprensión errónea del mismo.

5.3. ¿Puede lograrse un experimento mental a partir de los libros evaluados?

En el caso del número de descriptores que deberían de aparecer en la evaluación de las figuras contenidas en los textos, este se fijó en seis. De esta forma, se han encontrado en un total de diez libros (Tabla 3) seis o más descriptores para poder alcanzar con éxito el experimento mental deseado. La evaluación de las figuras deja mejores resultados que los obtenidos al identificar las categorías definidas en los libros, ya que en este caso eran siete los libros con resultados satisfactorios. Este resultado indica la importancia que tiene el hecho de tener en cuenta las figuras e ilustraciones en el proceso de enseñanza, ya que como se ha observado, hay elementos clave que aparecen en las figuras y no así en los textos.

Un claro ejemplo de la necesidad de contemplar las figuras de los libros de texto, es el caso del LIB5 (Fig. 8), en donde todo el contenido encontrado en el libro de texto sobre la explicación del experimento de Rutherford, recae en el texto del pie de la figura.

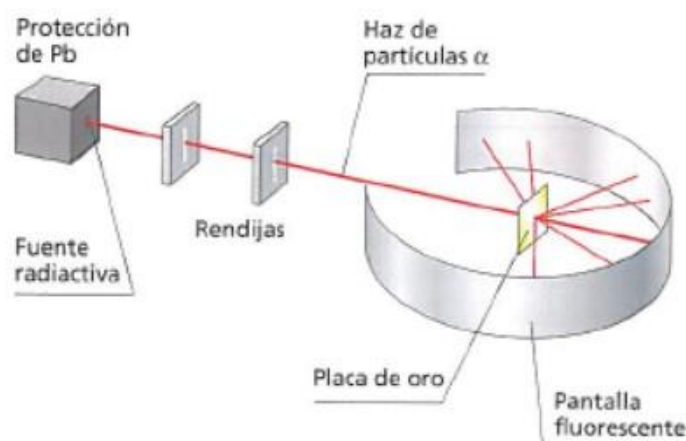


Figura 4.2. La mayoría de las partículas α (un tipo de iones positivos procedentes de una fuente radiactiva) impactan sobre una fina lámina de oro, atraviesan dicha lámina y producen destellos luminosos en la parte de la pantalla recubierta con ZnS. Unas pocas se desvían un ángulo pequeño, y las menos (1 de cada 20 000) experimentan grandes desviaciones e, incluso, rebotan.

Figura 8. Experimento de Geiger y Marsden. Extraído del LIB5. Editorial: Oxford Educación, 2015.

Considerando los resultados obtenidos en conjunto, es decir, tanto los de los descriptores de los textos, como los de las figuras (resultados de las tablas 2 y 3); el contenido de seis de los libros evaluados serían los que contendrían todos los elementos o descriptores que se precisan, según los criterios que se han establecido en este trabajo, para que los alumnos pudiesen llegar a construir un experimento mental acorde a lo experimentado por G&M.

Por tanto, teniendo en cuenta ambos resultados, para el contenido de los textos y para las figuras, los libros de texto que se ha considerado que recogen todos los elementos necesarios para que los alumnos lleguen a tal fin son los siguientes: el libro 1 publicado en el año 2016 en el contexto de la LOMCE; los libros 6, 7, 10 y 12 editados en el contexto educativo de la LOGSE, y, por último, un libro de la LOE, el libro 13 (publicado en año 2008). Llama la atención que sean cuatro los libros de la LOGSE los que, tras ser evaluados con los descriptores establecidos, presenten mayor número de categorías necesarias para alcanzar con éxito el experimento mental, ya que estos fueron publicados hace dos décadas, aunque hay que tener en cuenta que un 54% de los libros evaluados correspondían a este contexto. Este resultado lleva a pensar que con las reformas educativas no se ha conseguido una

mejora, en este caso en los contenidos de los libros de texto. Por otro lado, hay que señalar que, en tres de ellos (LIB1, 6 y 7) a pesar de haber sido descritos como buenos, no se hace alusión a la analogía planteada para el modelo de Rutherford, herramienta didáctica que puede ser esencial para que los alumnos puedan asimilar un concepto tan abstracto como es el de un modelo atómico.

Finalmente, en cuanto a la evaluación de los textos cabe destacar que el 85% de los libros presenta el experimento de G&M como un experimento único, sin tener en cuenta que los investigadores llevaron a cabo diversos experimentos con distintos escenarios, y fue fruto de tales experimentos lo que llevó a Rutherford a en el año 1911, plantear su modelo atómico. En los trabajos de Cuéllar et al. (2005) y Cuéllar, Gallego & Pérez-Miranda (2008), el 65% de los 15 libros de texto evaluados presentan los hechos de la misma forma, dando a entender que un solo experimento bastó para enunciar el modelo atómico de Rutherford. Esto llevará a los alumnos a tener una idea errónea y lejana de la Ciencia que se realiza en los laboratorios, en la cual, son necesarios distintos experimentos y bajo diversas condiciones para poder realizar conclusiones solventes, y mucho más para poder llegar a enunciar un modelo.

5.4. Abordaje histórico de los libros de texto en el contexto del experimento de Rutherford

En este apartado se muestran los resultados observados en relación a la contextualización histórica, el estado del arte de los textos en el marco del experimento del bombardeo de partículas alfa.

Por una parte, se ha evaluado el número de autores, o descubridores, que los libros mencionan en las unidades o temas en donde abarcan los aspectos relacionados con los modelos atómicos (Fig. 9), ya que, es dentro de estos en los que se explica el experimento. En la evaluación se han tenido en cuenta solamente aquellos autores que sus hitos en la Ciencia fueron previos al experimento de Rutherford, por lo tanto, sus hallazgos fueron necesarios para llevar a Rutherford a elaborar su modelo. Algunos textos, incluso mencionan antes que a Rutherford y G&M, científicos posteriores a ellos, como el caso de Chadwick, a quien se le atribuye el descubrimiento del neutrón; pero estos no se han tenido en cuenta para los resultados, aunque si se aprecian en la tabla del Anexo II.

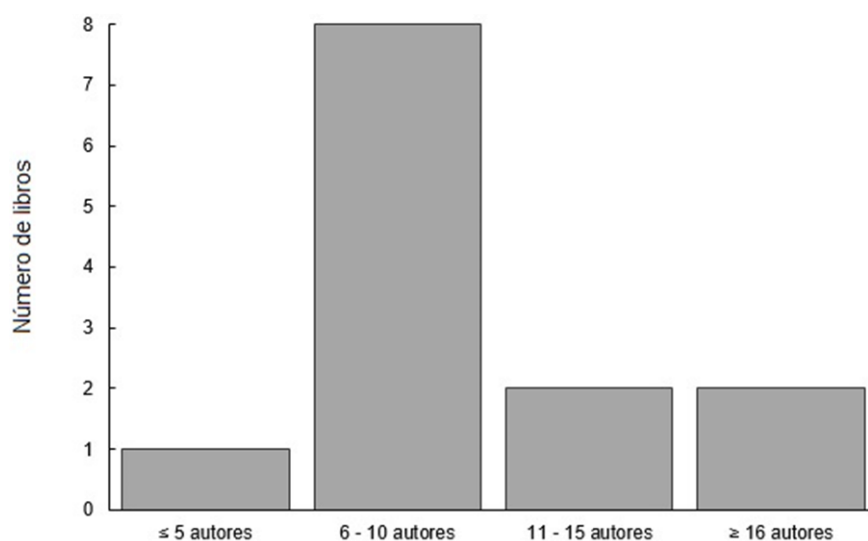


Figura 9. Resultados de la evaluación del número de autores que los libros de texto mencionan en cuanto a descubrimientos relativos a la teoría atómica previos al experimento del bombardeo de la lámina de oro con partículas alfa.

No sorprende que solamente un libro presente menos de cinco autores, ya que este libro (LIB2) fue publicado en el contexto educativo de la LOMCE, en el cual, como ya se ha indicado previamente, el modelo nuclear de Rutherford ha desaparecido de los contenidos del segundo curso de bachillerato. Ocho de los trece libros evaluados, mencionan entre 6 y 10 científicos cuyos trabajos previos fueron relevantes para conducir a Rutherford y sus colaboradores a plantear el experimento. Dentro de este conjunto de libros se encuentran cinco de los libros que se ha considerado que poseían los contenidos necesarios para que los alumnos sean capaces de forjarse un experimento mental de la experiencia en cuestión (LIB1, LIB7, LIB11, LIB12 y LIB13). Los dos libros que mencionan más de 16 autores, son libros de la LOGSE (LIB6 y LIB10). A pesar de que en ocasiones el hecho de mostrar un elevado número de autores puede hacer perder al texto la función pedagógica (Muñoz & Bertomeu, 2003), estos dos libros han sido señalados dentro del porcentaje de textos que hacen una correcta caracterización del experimento de G&M.

Se han observado otros aspectos en relación al marco teórico de los textos. En todos los libros se habla de los modelos atómicos enunciados por Dalton, Thomson y Rutherford como previos al modelo de Böhr. Estos tres modelos, a pesar de qué hoy en día sabemos las inconcluencias de cada uno y lo que les llevó a ser descartados, son el grueso de los textos en materia de la teoría atómica (Niaz, 2005). Pero es sabido por la literatura, y por los propios trabajos de los mencionados autores, que en

el tiempo entre que estos modelos se fueron sucediendo, acontecieron otros hallazgos relativos a la teoría atómica, como fue el modelo planetario de Nagaoka, siendo esta precisamente la única referencia que Rutherford mencionase en su trabajo de 1911: *“It is of interest to note that Nagaoka has mathematically considered the properties of the Saturnian atom”*; pero sin embargo, en ninguno de los textos aparece este autor.

Tras el hallazgo de Rutherford y sus colaboradores, y posterior publicación del modelo nuclear de Rutherford, que desbancaba el modelo atómico de Thomson; se abrió una disputa entre estos autores, ya que Thomson defendía la hipótesis de las dispersiones múltiples, debido a que tal hipótesis defendía a ultranza su modelo atómico; frente a la dispersión simple de Rutherford. Este criterio fue utilizado en los trabajos de Niaz (1998) y, en un trabajo posterior por Páez et al. (2004); en donde estudiaban la perspectiva histórica mostrada por los libros de texto de distintos niveles educativos en cuanto a la teoría atómica. Teniendo en cuenta tal criterio, sorprende ver que, en la presente muestra de libros, tan sólo aparece en el LIB4, en donde se puede leer que *“Thomson erró al interpretar sus experimentos con partículas alfa, pues se fijó más en la desviación de unas pocas partículas que en el hecho de que la mayoría atravesaba la lámina de oro sin desviarse”*. El resto de libros, simplemente hace una secuencia cronológica de hallazgos, sacando del primer plano a Thomson una que vez que Rutherford, junto G&M, tras los experimentos realizados enunció el modelo nuclear. Estos son claros ejemplos de que los libros de texto muestran la Ciencia en muchas ocasiones como si se tratase de un desarrollo lineal y simple, en donde los descubrimientos van acumulándose uno detrás de otro.

6. CONCLUSIONES

A partir de las dimensiones descritas para la evaluación de la muestra de libros de texto escogida, para ambos cursos de bachillerato, un 54% de los textos contienen los elementos necesarios para que los alumnos sean capaces a partir de estos de alcanzar con éxito un experimento mental respecto de la experiencia del bombardeo de partículas alfa.

El porcentaje de libros de textos que alcanzan con éxito el objetivo planteado, asciende a un 77% cuando son las imágenes contenidas en los libros las evaluadas. Este resultado pone de manifiesto la importancia que cobran las figuras en los libros

de texto, por lo que los textos deben de apoyarse en las figuras, para así completar la información y que, con ello, el alumno, construya conocimiento de manera adecuada.

Evaluando en conjunto ambos contenidos didácticos, textos y figuras, son seis los libros que contienen mayor número de categorías descritas. Es decir, en menos de la mitad de los libros evaluados (un 46%) se han observado los descriptores necesarios para poder llevarse a cabo exitosamente el experimento mental objeto de este trabajo.

Respecto de los seis libros de texto que se han señalado como apropiados por contener mayor número de descriptores, un 67% han sido libros publicados en el contexto educativo de la LOGSE, mientras que el 33% restante lo forman libros enmarcados en la LOE y en la LOMCE. Los malos resultados obtenidos en los libros de la LOMCE no resultan sorprendentes, ya que se han evaluado libros del segundo curso de bachillerato de la asignatura de Química, y el modelo de Rutherford no aparece en los contenidos de esta ley.

El 54% de los libros evaluados que fueron publicados en el marco de la LOGSE, presentan los contenidos necesarios para el objetivo planteado, por lo tanto, se puede concluir que en la LOGSE los textos y figuras, en la enseñanza del experimento de la lámina de oro, contaban con más contenidos que los de las reformas educativas posteriores.

A pesar de que no se disponía de distintas ediciones de todas las editoriales, a partir de la muestra de libros con la que se ha trabajado, la editorial “Edelvives” es la que mejores resultados ha cosechado, ya que, sus dos libros (LIB1 y LIB10) publicados en el contexto de leyes educativas distintas (LOMCE y LOGSE), entran dentro de los libros que presentan los contenidos necesarios para poderse forjar un experimento mental.

Todos los textos resaltan los hechos experimentales, además de mostrar una visión de la Ciencia como si de un proceso acumulativo se tratase. Solamente en uno de los textos (LIB4), queda plasmada la competencia entre programas rivales.

Los textos de bachillerato evaluados, no presentan una contextualización histórica adecuada respecto de la realidad en la evolución científica, limitando ésta a una secuencia cronológica de hechos.

7. FUTUROS TRABAJOS

Para completar este trabajo sería interesante llevar los libros evaluados a las aulas, y así comprobar si realmente los libros de texto que se han considerado como más apropiados a partir de las categorías descritas, en cuanto a la consecución del experimento mental, lo son también para los alumnos.

En este sentido, sería interesante realizar una comparativa en cuanto a resultados obtenidos para los textos y las figuras, respecto del objetivo planteado. Para ello, a un grupo de alumnos se les facilitarían los textos, a otros las figuras, y finalmente a otro grupo una combinación de ambos instrumentos. Mediante una rúbrica, previamente diseñada, se evaluaría con cuál de las tres opciones son capaces los alumnos de captar más elementos del experimento.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, Y., & Romero, A. (2011). A propósito de los experimentos mentales: una tentativa para la construcción de explicaciones en ciencias. In *5º Congreso Nacional de Enseñanza de la Física* (Vol. extra, pp. 169–174).
- Álvarez, C. (2012). La relación teoría-práctica en los procesos de. *Educatio Siglo XXI*, 30, 383–402.
- Álvarez, C. (2015). Teoría frente a práctica educativa: algunos problemas y propuestas de solución. *Perfiles Educativos*, 37(148), 172–190. <https://doi.org/10.1016/j.pe.2015.11.014>
- Aragón, M. M., Bonat, M., Oliva, J. M., & Mateo, J. (1999). Las Analogías como recurso didáctico en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 22, 109–116.
- Benarroch, A. (2000). Del modelo cinético-corpúscular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas. *Alambique*, 23, 95–108.
- Brown, J. R. (1991). *The laboratory of the mind: Thought Experiments in the Natural Sciences*. (Routledge, Ed.). New York.
- Cuellar, L., Gallego, R., & Pérez-Miranda, R. (2008). El modelo atómico de E. Rutherford. Del saber científico al conocimiento escolar. *Enseñanza de Las Ciencias*, 26(1), 43–52.
- Cuéllar, L., Pérez, R., & Quintanilla, M. (2005). La propuesta de Ernest Rutherford en

- los libros de texto en Colombia. Un análisis desde la historia de las ciencias y la visión de transposición didáctica en ellos. *Enseñanza de Las Ciencias, Extra*, VII, 1–6.
- Dagher, Z. R. (1995). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Science Education*, 79(3), 295–312. <https://doi.org/10.1002/sce.3730790305>
- Escudero, J. M. (1981). *Modelos didácticos*. (Oikos tau, Ed.). Barcelona.
- Farías, D. M. (2012). Teoría, estructura y modelos atómicos en los libros de texto de química de educación secundaria. Análisis desde la sociología de la ciencia e implicaciones didácticas. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- Fernández, J., González, B., & Moreno, T. (2003). Las analogías como modelo y recurso en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 35, 82–89.
- Galagovsky, L., & Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las Ciencias Naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de Las Ciencias*, 19(2), 231–242.
- Geiger, H., & Marsden, E. (1909). On a Diffuse Reflection of the alfa-Particles. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 82(557), 495–500. <https://doi.org/10.1098/rspa.1909.0054>
- Glenberg, A. M., & Langston, W. E. (1992). Comprehension of illustrated text: Pictures help to build mental models. *Journal of Memory and Language*, 31(2), 129–151. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(92\)90008-L](https://doi.org/10.1016/0749-596X(92)90008-L)
- González, R. (2017). *Experimentos mentales y filosofías de sillón: Desafío, límites y críticas*. (B. & Allende, Ed.). Chile.
- Hibbing, A. N., & Rankin-Erickson, J. L. (2003). A picture is worth a thousand words: Using visual images to improve comprehension for middle school struggling readers. *The Reading Teacher*, 56(8), 758–770.
- Jiménez, J. de D., & Perales, F. J. (2001). Aplicación del análisis secuencial al estudio del texto escrito y de las ilustraciones de los libros de texto de física y química en la ESO. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 19(1), 3–19. Retrieved from <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21704/21538>

- Kasmaienezhadfar, S., Pourrajab, M., & Rabbani, M. (2015). Effects of Pictures in Textbooks on Students. *Multi Disciplinary Edu Global Quest (Quarterly)*, 4(2), 83–96.
- Macías, C., Mejía, L. S., & Aguilar, Y. (2015). La experimentación mental en la formación de maestros de ciencias: Una alternativa para la Enseñanza de la Física Moderna en la escuela. *Latin American Journal of Science Education*, 2, 1–12. Retrieved from www.lajse.org
- Manzano, R. C., & Dasilva, G. (2012). Estudiando cómo los modelos atómicos son introducidos en los libros de texto de Secundaria [Analyzing how Atomic Models are being introduced in Secondary School textbook]. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 9(3), 329–337.
- McComas, W. F. (1998). The Principal Elements of the Nature of Science: Dispelling the Myths. In Kluwer Academic Publishers: Dordrecht (Ed.), *McComas, W. F. (Ed.) The Nature of Science in Science Education* (pp. 53–70).
- Muñoz, R., & Bertomeu, J. R. (2003). *La Historia de la Ciencia en los libros de texto: la(s) hipótesis de Avogadro. Enseñanza de las ciencias* (Vol. 21). ICE de la Universidad Autónoma de Barcelona en colaboración con ICE de la Universidad de Valencia. Retrieved from <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21903/21737>
- Nersessian, N. (1992). How do scientifics think? Capturing the dynamics of conceptual change in Science. In R. . Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science. University of Minnesota Press. Minneapolis* (pp. 3–44). University of Minnesota Press. Minneapolis.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-Based Reasoning in Conceptual Change. In L. Magnani, N. J. Nersessian, & P. Thagard (Eds.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 5–22). New Cork: Kluwer Academic/Plenum Publishers. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4813-3_1
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. In P. Carruthers, S. Skitch, & M. Siegal (Eds.), *The Cognitive Basis of Science* (pp. 133–153). Cambridge University Press. N.Y. Retrieved from https://www.cc.gatech.edu/classes/AY2013/cs7601_spring/papers/Nersessian.2002.pdf

- Niaz, M. (1998). From cathode rays to alpha particles to quantum of action: A rational reconstruction of structure of the atom and its implications for chemistry textbooks. *Science Education*, 82(5), 527–552. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199809\)82:5<527::AID-SCE1>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199809)82:5<527::AID-SCE1>3.0.CO;2-B)
- Niaz, M. (2005). ¿Por qué los textos de química general no cambian y siguen una “retórica de conclusiones”? *Educación Química*, 16(3), 2005.
- Niaz, M., Aguilera, D., Maza, A., & Liendo, G. (2002). Arguments, Contradictions, Resistances, and Conceptual Change in Students' Understanding of Atomic Structure. *Science Education*, 86(4), 505–525. <https://doi.org/10.1002/sce.10035>
- Norton, J. (1991). Thought experiments in Einstein's work. In T. Horowitz & G. Massey (Eds.), *Thought Experiments in Science and Philosophy*. Savage: Rowman and Littlefield.
- Oliva, J. M. (2003). ¿ Resulta posible construir conocimientos en el bachillerato desde las explicaciones del profesor ? *Alambique*, 38.
- Oliva, J. M., Aragón, M. M., Bonat, M., & Mateo, J. (2003). Un estudio sobre el papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 21(3), 429–444. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=743312&info=resumen&idioma=SPA>
- Oliva, J. M., Azcárate, P., & Navarrete, A. (2007). Teaching Models in the Use of Analogies as a Resource in the Science Classroom. *International Journal of Science Education*, 29(1), 45–66. <https://doi.org/10.1080/09500690600708444>
- Otero, M. R., & Greca, I. M. (2004). Las imágenes en los textos de Física: entre el optimismo y la prudencia. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 21(1), 37–67.
- Páez, Y., Rodríguez, M. A., & Niaz, M. (2004). Los Modelos Atómicos desde la perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia: un análisis de la imagen reflejada por los textos de química de bachillerato. *Investigación y Postgrado*, 19(1), 51–77.
- Peeck, J. (1993). Increasing picture effects in learning from illustrated text. *Learning*

- and Instruction*, 3(3), 227–238. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(93\)90006-L](https://doi.org/10.1016/0959-4752(93)90006-L)
- Perales, F. J., & Jiménez, J. de D. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de Las Ciencias*, 20(3), 369–386.
- Puelles Benítez, M. de. (2007). La política escolar del libro de texto en la España contemporánea: Avances en Supervisión educativa. *Revista de La Asociación de Inspectores de Educación de España*, (6), 11. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2337357&info=resumen&idioma=ENG>
- Reiner, M. (1998). Thought experiments and collaborative learning in physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1043–1058. <https://doi.org/10.1080/0950069980200903>
- Reiner, M., & Burko, L. M. (2003). On the Limitations of Thought Experiments in Physics and the Consequences for Physics Education. *Science and Education*, 12(4), 365–385. <https://doi.org/10.1023/A:1024438726685>
- Reiner, M., & Gilbert, J. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22(5), 489–506. <https://doi.org/10.1080/095006900289741>
- Rodríguez, M. A., & Niaz, M. (2002). El experimento de Rutherford en el contexto de la Historia y Filosofía de la Ciencia y sus implicaciones para los textos de física. *Revista de Enseñanza de La Física*, 15(1), 5–12.
- Romera, A. M. V., Caballero Caballero, I., & Pablos Miguel, M. (2017). La competencia científica en los textos escolares. Un estudio LOE-LOMCE. In *X Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias* (pp. 1129–1134).
- Rutherford, E. (1911). The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom. *Philosophical Magazine*, 21, 669–688.
- Sobanski, B. (2014). The Work of Thought Experiments: Translating Abstract Concepts into Familiar Situations. *Tooth & Claw*, 11(0), 67–74. Retrieved from <https://ojs.library.dal.ca/tandc/article/view/4263/4234>
- Sorensen, R. (1992). *Thought Experiments*. Oxford: Oxford University Press.
- Tsaparlis, G. (1997). Atomic and Molecular Structure in Chemical Education: A Critical

- Analysis from Various Perspectives of Science Education. *Journal of Chemical Education*, 74(8), 922. <https://doi.org/10.1021/ed074p922>
- Uribe, M. V., & Cuellar, L. (2003). Estudio histórico-epistemológico del modelo atómico de Rutherford. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 14.
- Wang, H. A., & Schmidt, W. H. (2001). History , Philosophy and Sociology of Science in Science Education: Results from the Third International Mathematics and Science Study. *Science & Education*, 10, 51–70.
- Wilkes, K. V. (1988). *Real People: Philosophy of Mind Without Thought Experiments*. Oxford: Oxford University Press.

ANEXO I. Relación de libros de texto analizados

Edelvives, 2º Bachillerato – Química (2016)

Santillana, 2º Bachillerato – Química (2016)

McGrawHill, 2º Bachillerato – Química (2016)

Bruñó, 1º Bachillerato – Física y Química (2015)

Oxfrod Ed., 1º Bachillerato – Física y Química (2015)

Oxford Ed., 1º Bachillerato – Física y Química (1999)

ECIR, 1º Bachillerato – Física y Química (1997)

Anaya, 1º Bachillerato – Física y Química (2000)

SM, 1º Bachillerato – Física y Química (2002)

Edelvives, 1º Bachillerato – Física y Química (2002)

Bruñó, 1º Bachillerato – Física y Química (2002)

McGrawHill, 1º Bachillerato – Física y Química (2002)

Edebé, 1º Bachillerato – Física y Química (2008)

ANEXO II. Resultados evaluación del contexto histórico en los libros de texto

Tabla AI. Resultados de la contextualización histórica de los libros de texto respecto del experimento de Rutherford y sus colaboradores.

| Descubridores | LIB1 | LIB2 | LIB3 | LIB4 | LIB5 | LIB6 | LIB7 | LIB8 | LIB9 | LIB10 | LIB11 | LIB12 | LIB13 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| a.C. | | | | | | | | | | | | | |
| Tales de Mileto (624 - 546) | ✓ | | | | | | | | | ✓ | | | |
| Leucipo (460 - 370) | | | | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | | |
| Demócrito (460 - 370) | ✓ | | | | | | | | | ✓ | ✓ | | |
| Aristóteles (384 - 322) | | | | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | | |
| Epicuro (341 - 270) | | | | | | ✓ | | | | ✓ | | | |
| Lucrecio Caro (99 - 55) | | | | | | ✓ | | | | | | | |
| Siglo XVII | | | | | | | | | | | | | |
| Boyle (1627 - 1691) | | | | | ✓ | ✓ | | | | | | | |
| Siglos XVIII - XIX | | | | | | | | | | | | | |
| Cavendish (1731 - 1810) | | | | | | ✓ | | | | | | | |
| Scheele (1742 - 1786) | | | | | | ✓ | | | | | | | |
| Priestley (1733 - 1804) | | | | | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | |
| Lavoisier (1747 - 1794) | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Proust (1754 - 1826) | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |
| Berthollet (1748 - 1822) | | | | | | | ✓ | | | ✓ | | | |
| Dalton (1766 - 1844) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Berzelius (1779 - 1848) | | | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ | | | |
| Faraday (1791 - 1867) | | | | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| Geissler (1814 - 1879) | | | | ✓ | | | | | | | | ✓ | |
| Stoney (1826 - 1911) | | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | | |
| Crookes (1832 - 1919) | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | | | | | ✓ | |
| Goldstein (1850 - 1930) | | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| Thomson (1856 - 1940) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Balmer (1825 - 1898) | | | | | | | | | | | | | |
| Becquerel (1852 - 1908) | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | | | | | ✓ |
| Pierre Curie (1859 - 1906) Marie Curie (1867 - 1934) | ✓ | | | | | | ✓ | ✓ | | | | | |
| Maxwell (1831 - 1879) | ✓ | | ✓ | | | | | | | | | | |
| Siglo XX | | | | | | | | | | | | | |
| Planck (1858 - 1947) | | | ✓ | | | ✓ | | | | | | | |
| Millikan (1868 - 1953) | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Rutherford (1868 - 1937) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Soddy (1877 - 1956) | | | | | ✓ | | | | | | | | |
| Geiger (1882 - 1945) Marsden (1889 - 1970) | | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | |
| Descubrimientos posteriores al experimento y modelo nuclear de Rutherford | | | | | | | | | | | | | |
| Bohr (1885 - 1962) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Moseley (1887 - 1915) | | | | | | | | | | | | | ✓ |
| Bothe (1891 - 1957) Becker (1887 - 1950) | | | | | | | | | | | | | ✓ |
| Aston (1877 - 1945) | | | | | ✓ | | | | | | | | |
| Chadwick (1891 - 1974) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |